

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**PROPOSTA DE AMPLIAÇÃO DA ETE PARANOÁ VISANDO
ADEQUAR O SISTEMA DE TRATAMENTO ÀS CARGAS
ORGÂNICAS E VOLUMÉTRICAS AFLUENTES**

MATHEUS ROCHA NASCIMENTO

ORIENTADORA: ARIUSKA KARLA BARBOSA AMORIM

CO-ORIENTADOR: ANTÔNIO JOSÉ BRITO

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL II EM ENGENHARIA
AMBIENTAL**

BRASÍLIA / DF: JULHO / 2019

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**PROPOSTA DE AMPLIAÇÃO DA ETE PARANOÁ VISANDO
ADEQUAR O SISTEMA DE TRATAMENTO ÀS CARGAS
ORGÂNICAS E VOLUMÉTRICAS AFLUENTES**

MATHEUS ROCHA NASCIMENTO

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA
AMBIENTAL.**

APROVADA POR:

Ariuska Karla Barbosa Amorim, DSc (ENC - UnB)
(ORIENTADOR)

Antônio José de Brito, Eng.
(CO-ORIENTADOR)

Arthur Tavares Schleicher, Msc. (ENC - Unb)
(EXAMINADOR INTERNO)

Yovanka Pérez Ginoris, DSc (ENC- UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: BRASÍLIA/DF, 7 DE JULHO DE 2019.

FICHA CATALOGRÁFICA

NASCIMENTO, MATHEUS ROCHA

Proposta de ampliação da ETE Paranoá visando adequar o sistema de tratamento às cargas orgânicas e volumétricas afluentes [Distrito Federal] 2019.

xvi, 75 p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Ambiental, 2019)

Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Proposta

2. UASB

3. ETE Paranoá

4. Lagoas de Alta taxa

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

NASCIMENTO, M. R. (2019). Proposta de ampliação da ETE Paranoá visando adequar o sistema de tratamento às cargas orgânicas e volumétricas afluentes. Monografia de Projeto Final II, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 75p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Matheus Rocha Nascimento

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Proposta de ampliação da ETE Paranoá visando adequar o sistema de tratamento às cargas orgânicas e volumétricas afluentes.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Ambiental / 2019

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Matheus Rocha Nascimento
SHIS QI 28 CHACARA 11 CASA C
71.670-725 – Brasília/DF – Brasil
e-mail: matheusjjy@gmail.com

AGRADECIMENTOS

À toda a minha família, que sempre me apoiou e participou do meu crescimento pessoal. Ao meu pai que sempre buscou me tranquilizar e manter forte durante os momentos de estresse. Á minha mãe que sempre me incentivou a dar meu melhor em todas as tarefas que realizo. Á minha orientadora, Ariuska Amorim, pela orientação pelo incentivo e por acreditar em mim. Ao meu co-orientador, Antônio José de Brito pelo auxílio. Ao Antônio Harada pelos conselhos e diversos momentos de auxílio durante a execução do projeto. Aos membros da banca examinadora, Prof^a Yovanka e Prof. Arthur, por aceitarem o convite e dado valiosas dicas e orientações no projeto. Aos professores do Departamento, por todos os conselhos, ajudas e compartilhar os conhecimentos durante esses anos de graduação. Em especial ao Arthur, pelas valiosas críticas construtivas no desenvolvimento do trabalho e ao professor Ricardo. Aos meus amigos e colegas da UnB, especialmente ao Maurício, Enderson, Papa, Larissa, Atman, Romário Gabriel, Natália Maria, Stefanie, Fabi, Gabriela, Iara, Aninha, Rodrigo, Mário, 01, Jales, Murilo, Alex, Matheus, Sisnando etc., enfim, todos que em alguma ou várias situações, partilharam momentos de amizade, de estudos, de confraternização ou simplesmente me ajudaram quando mais precisei. Espero que nos encontremos no futuro.

RESUMO

PROPOSTA DE AMPLIAÇÃO DA ETE PARANOÁ VISANDO ADEQUAR O SISTEMA DE TRATAMENTO ÀS CARGAS ORGÂNICAS E VOLUMÉTRICAS AFLUENTES

É crescente a preocupação com a disponibilidade e a qualidade da água presente nos corpos hídricos em todo o mundo e não é diferente no Brasil. Em 2017 a cidade de Brasília vivenciou seu maior problema relacionado ao abastecimento de água, seu principal reservatório de abastecimento alcançou a marca de 5,3% da sua capacidade máxima, segundo aferições realizadas nos últimos meses do ano. Nesse mesmo ano, pela primeira vez a cidade vivenciou a política pública de racionamento de água, e a população sofreu as consequências da utilização inconsciente da água. A situação vivida serviu de alerta para o tema da preservação dos corpos hídricos além de despertar interesse na população, como um todo, para o assunto.

Em 1997, na região administrativa do Paranoá, foi inaugurada a ETE Paranoá com população de projeto de 60.000 habitantes e atualmente atende mais de 80.000 pessoas. Estudos realizados na estação apontam que existem, diariamente, momentos de pico de vazão que não é suportada pela ETE. Nesses momentos, ocorre o fenômeno do *by-pass*, quando o afluente não passa por uma das etapas de tratamento, fato que diminui a eficiência do tratamento global da ETE.

O presente trabalho visa adequar a ETE Paranoá as cargas afluentes à estação. A primeira etapa analisou os dados de crescimento da rede de coleta de esgoto para conhecer a quantidade de pessoas atendidas na atualidade e no futuro. A segunda etapa consistiu na análise dos dados, fornecidos pela CAESB, de cargas tratadas pela ETE.

A análise dados de crescimento populacional e de previsões de ampliação da rede de coleta de esgoto doméstico, presentes no PDAE-DF, aponta que a população atendida atualmente não sofrerá grande acréscimo nos próximos 20 anos. Assim, foi proposta a ampliação da ETE Paranoá visando solucionar os problemas de carga que estão sendo tratados atualmente.

A análise de dados de vazões horárias, fornecidas pela CAESB, apontou que houve sobrecarga dos sistemas de tratamento durante os 56 dias analisados. Ao todo foram coletados 1399 valores de vazão, 563 desses valores ultrapassaram o valor de vazão máxima de 112 L/s da ETE Paranoá, totalizando 40,24% do total, apontando a necessidade da expansão.

Finalmente foi dimensionado um reator UASB com vazão de 40 L/s e uma lagoa de alta taxa com área de 0,1 Km², visando adequar a estação às novas demandas.

Palavras-Chaves: Reator UASB, Lagoas de alta Taxa, ETE Paranoá.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	III
LISTA DE FIGURAS	IV
LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES	VI
1- INTRODUÇÃO.....	1
2- OBJETIVOS.....	3
2.1 - Objetivo Geral.....	3
2.2 - Objetivos Específicos.....	3
3- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
3.1 Realidade do esgotamento sanitário no Brasil.....	4
3.2 Tecnologias de Tratamento e Esgotos Sanitários	5
3.3 - DIGESTÃO ANAERÓBIA	6
3.3.1 Microbiologia da digestão anaeróbia.....	8
3.3.2 Fatores que influenciam na digestão anaeróbia.....	11
3.4 REATORES ANAERÓBIOS DE MANTA DE LODO – UASB.....	15
3.4.1 Descrição do Reator.....	15
3.4.2 Problemas usuais da Operação de Reatores UASB.....	17
3.5 Diretrizes, critérios e parâmetros de projeto.....	18
3.5.1 Pré-tratamento dos esgotos.....	18
3.5.2 Carga hidráulica volumétrica e tempo de detenção hidráulica.....	19
3.5.3 Carga orgânica volumétrica.....	20
3.5.4 Carga biológica (carga de lodo).....	21
3.5.5 Velocidade superficial do fluxo.....	22
3.5.6 Altura do reator.....	23
3.5.7 Sistema de distribuição do afluente	24
3.5.8 Separador trifásico	26
3.5.9 Sistema de coleta de efluente	28
3.5.10 Eficiência dos reatores UASB	29
3.5.11 Produção, coleta e tratamento do biogás	32
3.5.12 Produção, amostragem e retirada de lodo.....	34
3.6 Lagoas de Alta Taxa.....	36
4 METODOLOGIA.....	42
4.1 ETAPA 1 - Delimitação da Área de contribuição para a ETE Paranoá	44
4.2 ETAPA 2 - Diagnóstico do sistema biológico de tratamento.....	44

4.3	ETAPA 3 - Proposta de ampliação.....	45
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1	Delimitação da área de contribuição para a ete paranoá	46
5.2	Diagnóstico do sistema biológico de tratamento	49
	Escala temporal mensal	49
	Escala temporal diária	51
	Dados operacionais atuais	53
5.3	PROPOSTA DE AMPLIAÇÃO	55
5.3.1	Dimensionamento Reator UASB 40 L/s	56
5.3.2	Dimensionamento das lagoas de alta taxa	67
6	Conclusões.....	72
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
	Anexo 1 – Quadro de vazões afluentes medidas nas ETE's e utilização em função da vazão de projeto.	1
	Anexo 2 – Médias anuais de concentração e carga de DBO afluentes às ETE's.	2
	Anexo 3 – Estimativas de população atendidas nas ETes e utilização em função da população de projeto.....	4
	Anexo 4 – Projeções de população atendida por bacia de esgotamento sanitário no DF.	5

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 Diagnóstico dos Serviços de Esgoto (Adaptada de SNIS 2016).....	5
Tabela 3.2 Principais vantagem e desvantagens dos processos anaeróbios.	7
Tabela 3.3 Tempos de detenção hidráulica para o projeto de reatores UASB.....	20
Tabela 3.4 Velocidade superficiais recomendadas para o projeto de reatores UASB, tratando esgotos domésticos.	23
Tabela 3.5 Taxas de aplicação superficial e tipos de detenção hidráulica no compartimento de decantação. Adaptado Chernicharo (2007).	27
Tabela 3.6 Velocidades através das aberturas de passagem para o decantador. Adaptada de Chernicharo (2007).	28
Tabela 4.1 Parâmetros de projeto da ETE-Paranoá (Soares e Gomes, 1999).	42
Tabela 4.2 Parâmetros de projeto dos Reatores Anaeróbios (UASB) da ETE Paranoá, (adaptado de Soares e Gomes, 1999).	43
Tabela 5.1 Projeções de população dos SAs atendida nas bacias de esgotamento sanitário do DF.	47
Tabela 5.2 Comparativo do número de ocorrências superiores e inferiores ao valor de vazão de projeto.	51
Tabela 5.3 Parâmetros de projeto da ETE Paranoá. (Adaptado de Soares e Gomes, 1999)	53
Tabela 5.4 Valores de ocorrências de vazões superiores e inferiores à de projeto.	54
Tabela 5.5 Resultado dos cálculos de obtenção do volume do reator.	56
Tabela 5.6 Resultado dos cálculos de obtenção do tempo de detenção hidráulica.	57
Tabela 5.7 - Resultado do cálculo volumétrico modular.	57
Tabela 5.8 Resultado do cálculo da área modular.	57
Tabela 5.9 Resultado do cálculo da velocidade superficial do fluxo.	58
Tabela 5.10 Resultado do cálculo do número de distribuidores.	58
Tabela 5.11 Estimativa de remoção de DQO.	59
Tabela 5.12 Estimativa de remoção de DBO.	59
Tabela 5.13 Estimativa da concentração de DQO no efluente final.	60
Tabela 5.14 Estimativa da concentração de DBO no efluente final.	60
Tabela 5.15 Resultado da produção de Biogás pelo reator.	60
Tabela 5.16 Resultado do fator de correção para a temperatura do reator.	61
Tabela 5.17 Resultado da conversão de produção de massa de metano em volume de metano.	61
Tabela 5.18 Produção real de metano.	61
Tabela 5.19 Composição do esgoto bruto afluente a ETE Paranoá.	69
Tabela 5.20 Característica dos Efluentes ao UASB.	69
Tabela 5.21 Resumo comparativo entre parâmetros do esgoto tratado na ETE Paranoá e esgotos tratados em Israel.	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1- Balanço esquemático de DQO no sistema anaeróbio adaptado de Chernicharo (2007).	8
Figura 3-2 Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia. Fonte: Chernicharo (2007).....	9
Figura 3-3– Desenho esquemático de um reator UASB. Fonte: Chernicharo (2007).....	16
Figura 3-4 Relação entre concentração do despejo e volume do reator. Fonte: Lettinga (1996) apud Chernicharo (2007).	21
Figura 3-5: Relação entre a velocidade superficial e o tempo de detenção hidráulica, para diferentes alturas de reator. Fonte: Chernicharo (2007).	23
Figura 3-6: Diretrizes preliminares para determinação da área de influência de distribuidores de vazão em reatores de manta de lodo. Fonte: Chernicharo (2007).	25
Figura 3-7 Eficiência de remoção de DQO esperada para reatores UASB, tratando esgotos domésticos. Fonte: Chernicharo (2007).	30
Figura 3-8 Eficiência de remoção de DBO esperada para reatores UASB, tratando esgotos domésticos. Fonte: Chernicharo (2007).	30
Figura 3-9 Concentração de SST esperadas no efluente de reatores UASB tratando esgotos domésticos. Fonte: Chernicharo (2007).	32
Figura 3-10 Dimensões estimadas e produtividade de algas para as 3 estratégias, baseado em uma comunidade de 50.000 pessoas. Fonte: Azov e Shelef, (1982) com modificações.	40
Figura 3-11 Variações sazonais da radiação solar e temperatura em Haifa (Lat. 32°N) Fonte: Azov e Shelef, (1982) com modificações.	40
Figura 3-12 Composição do esgoto bruto (mg l ⁻¹ , caso não citado). Fonte: Azov e Shelef, (1982) com modificações.	41
Figura 4-1: Fluxograma da ETE Paranoá. Fonte: Silva (2007) com adaptações	43
Figura 5-1 Perfil das Famílias habitantes no Condomínio Paranoá Parque (CODEPLAN).	47
Figura 5-2 Mapa das Regiões administrativas do Paranoá e Itapoã do ano de 2002.	48
Figura 5-3 Mapa das Regiões administrativas do Paranoá e Itapoã do ano de 2019.	48
Figura 5-4 – Médias mensais de remoção de DBO, DQO e SS da ETE Paranoá.	50
Figura 5-5 Vazão média afluyente medida dos anos de 2006 a 2017.	50
Figura 5-6 Hidrograma de vazões horárias no dia 26 de abril de 2018.	52
Figura 5-7 Hidrograma de vazões horárias no dia 12 de maio de 2018.	52
Figura 5-8 Hidrograma de vazões horárias no dia 10 de junho de 2018.	53
Figura 5-9 Gráfico de chuva acumulada mensal x Chuva normal histórica.	55
Figura 5-10 Esquemas das áreas de influência de cada tubo.	59
Figura 5-11 Representação esquemática dos separadores trifásicos (planta superior).	62
Figura 5-12 Corte transversal (esquemático) dos separadores trifásicos	66
Figura 5-13 Corte longitudinal (esquemático) de um separador trifásico.	66
Figura 5-14 Médias mensais de temperatura em Brasília. Fonte: INMET.	68
Figura 5-15 Radiação solar média diária mensal no DF. Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil.	68
Figura 5-16 Possível localização do Reator e da Lagoa de Alta Taxa.	70
Figura 5-17 Variação do tempo de detenção em função da profundidade da lagoa e os meses do ano em Haifa.	71

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal

Codeplan – Companhia de Planejamento do Distrito Federal

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DF – Distrito Federal

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETE – Estação de Tratamento de Esgotos

HAB- Habitantes

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LAT – Lagoa de Alta Taxa

PDAD – Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios

Plansab - Plano Nacional de Saneamento Básico

SS – Sólidos em Suspensão

SST – Sólidos Suspensos Totais

UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket

1- INTRODUÇÃO

É crescente a preocupação com a disponibilidade e a qualidade da água presente nos corpos hídricos em todo o mundo e não é diferente no Brasil. Em 2017 a cidade de Brasília vivenciou seu maior problema relacionado ao abastecimento de água, seu principal reservatório de abastecimento alcançou a marca de 5,3% da sua capacidade máxima, segundo aferições realizadas nos últimos meses do ano. Nesse mesmo ano, pela primeira vez a cidade vivenciou a política pública de racionamento de água, e a população sofreu as consequências da utilização inconsciente da água. A situação vivida serviu de alerta para o tema da preservação dos corpos hídricos além de despertar interesse na população, como um todo, para o assunto.

O tratamento dos efluentes que posteriormente serão lançados em corpos hídricos é fundamental para a manutenção da qualidade do mesmo. A resolução CONAMA Nº 430/2011 classifica os corpos hídricos e dita condições e padrões de lançamentos em efluentes. Para a adequação dos efluentes aos padrões de lançamento existem diversas tecnologias de tratamento que variam em complexidade, área necessária, confiabilidade do processo, condições climáticas, custos de implementação e operação entre outros. A escolha do tipo de tratamento a ser implantado deve ser norteada pelo resultado que se deseja alcançar respeitando condições ambientais, econômicas, sociais, políticas entre outras.

Entre as diversas tecnologias de tratamento disponíveis, existem os sistemas de tratamento dos esgotos por meio de processos biológicos, que podem ocorrer na presença ou ausência de oxigênio, caracterizando o processo aeróbio ou anaeróbio, respectivamente. Atualmente existe a tendência pela utilização do sistema composto por duas etapas em série de tratamento biológico, primeiramente o afluente sofre digestão anaeróbia, em seguida passa pelo processo de digestão aeróbia em fase posterior do tratamento.

Os esgotos sanitários geralmente possuem mais de 98% de sua composição constituída por água, também há a presença de sólidos suspensos, compostos orgânicos, nutrientes, metais, sólidos dissolvidos inorgânicos, sólidos inertes, sólidos grosseiros, compostos não biodegradáveis e organismos patogênicos (Jordão e Pessoa, 2005; Campos, 1999).

Brasília apresenta uma realidade diferente de todo o país, apontado valor de 85,95% segundo a Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal - ADASA, de coleta de esgoto. Esse fato, por si só, não é garantia de qualidade do serviço oferecido, mas é uma realidade privilegiada em relação ao resto do país que possuía em 2016, segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), média

nacional de coleta de esgoto de 51,92% de toda a população.

A Estação de Tratamento de Esgoto do Paranoá localizada na DF-001, km 15 é composta por tratamento preliminar, três Reatores Anaeróbios (primeira etapa) e nove lagoas de digestão aeróbia (segunda etapa). Sua vazão de projeto é de 112L/s. Segundo Neder e Harada (1997), a principal e mais importante característica da região do entorno da cidade do Paranoá é a grande disponibilidade de área para a instalação da estação de tratamento de seus esgotos. Essa característica influenciou a escolha das lagoas de alta taxa como alternativa de tratamento secundário.

Atualmente, a ETE Paranoá não é suficiente para atender as demandas da população alvo, que reside nas regiões administrativas do Paranoá e Itapoã. Segundo a Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios – PDAD 2016, o índice de atendimento urbano das regiões administrativas do DF é de 92,86%, enquanto o do ano de 2014 era de 85,95%. Assim, o crescente aumento do atendimento deve ser acompanhado pela capacidade de tratamento das estações como um todo. Dessa forma, neste trabalho será proposta ampliação da ETE Paranoá, visando adequar os sistemas de tratamento às cargas orgânicas e volumétricas afluentes

2- OBJETIVOS

2.1 - OBJETIVO GERAL

O objetivo principal desse estudo é realizar uma proposta de ampliação da ETE Paranoá, visando adequar os sistemas de tratamento às cargas orgânicas e volumétricas afluentes.

2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar os dados operacionais de cargas e eficiências de tratamento das unidades de tratamento biológico, comparando-os com os valores utilizados no projeto;
- Adequar a ETE Paranoá para um determinado horizonte de projeto que leva em conta o crescimento populacional e as cargas a serem tratadas

3- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 REALIDADE DO ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO BRASIL

O Brasil é um país com dimensões de um continente, possuindo grandes divergências em questões econômicas, sociais, físicas, climáticas entre outros fatores que influenciam a implantação do sistema e o tratamento de esgoto propriamente dito do esgoto. Outra característica que dificulta a implantação do esgotamento sanitário de forma igualitária em todas as regiões é a governança do país.

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) realizou uma pesquisa em 2016 que aponta a situação do país em relação a saneamento básico em todas as regiões do Brasil. A realidade do país é preocupante e apresenta grandes desigualdades no serviço de coleta de esgotamento sanitário. É válido lembrar que o serviço de coleta e tratamento de esgoto é um dos componentes dos serviços do saneamento básico, direito de todos os cidadãos, composto por abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem urbana e manejo de resíduos sólidos.

O estudo do SNIS apontou grande divergência entre as regiões do país nos serviços analisados. Quanto ao sistema de coleta do esgoto, a região norte do país apresenta o pior cenário, com apenas 13,37% de atendimento da população e a região sudeste apresenta o melhor cenário, com 83,18% de coleta do esgoto. Esse dado aponta a realidade desigual do serviço no país. O Brasil possuía, em 2016, 51,92% de cobertura do serviço, apesar disso, mesmo os municípios que possuem atendimento do serviço de esgoto, apenas uma pequena parcela da população é realmente atendida. A tabela 3.1 apresenta os dados com mais detalhes das macrorregiões do país.

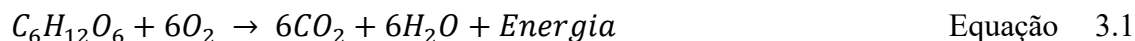
A lei 11.445 de 5 de janeiro de 2007 que estabeleceu diretrizes para o saneamento básico no Brasil, determinou também princípios do fornecimento desse serviço como a universalidade do acesso, que é um dos pontos mais desafiadores para a realidade atual do país nas questões financeiras e governamentais. A lei também aponta as obrigações e direitos dos titulares dos serviços para o correto planejamento e aplicação da política pública de saneamento básico, criando no art. 52 o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB). Esse plano é de responsabilidade da União com coordenação do ministério das cidades e nele devem conter, entre outros, os objetivos e metas nacionais e regionalizadas, de curto, médio e longo prazos, para a universalização dos serviços de saneamento básico e o alcance de níveis crescentes de saneamento básico no território nacional, observando a compatibilidade com os demais planos e políticas públicas da União.

Tabela 3.1 Diagnóstico dos Serviços de Esgoto (Adaptada de SNIS 2016)

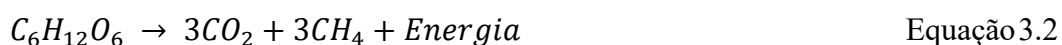
Região	INDICADORES OPERACIONAIS - ESGOTO	
	Índice de atendimento urbano de esgoto referido aos municípios atendidos com água (%)	Índice de atendimento urbano de esgoto referido aos municípios atendidos com esgoto (%)
Norte	13,37	19,92
Nordeste	34,73	46,60
Sudeste	83,18	84,54
Sul	49,02	62,09
Centro-Oeste	56,73	66,12
TOTALIZAÇÃO NACIONAL	59,74	68,89

3.2 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO E ESGOTOS SANITÁRIOS

O tratamento biológico de águas residuárias pode ser realizado, basicamente, de duas formas: aeróbia e anaeróbia. O processo de tratamento, de fato, trata-se da oxidação da matéria orgânica carbonácea, e eventualmente, ocorre oxidação, também, de compostos nitrogenados. Quando ocorre a digestão aeróbia, há o consumo da matéria orgânica e oxigênio e formação de gás carbônico, água e liberação de energia, conforme a Equação 3.1:



Já na digestão anaeróbia, existe o consumo de matéria orgânica e produção de metano, gás carbônico e liberação de energia, conforme a Equação geral 3.2.



Chernicharo (2007) afirma que os sistemas biológicos devem conjugar baixos custos de implantação e operação, simplicidade operacional índices mínimos de mecanização e sustentabilidade do sistema como um todo. Apontou ainda que as seguintes alternativas, dentre outras, deveriam ser consideradas:

- Sistemas individuais de tratamento e disposição de excretas e esgotos, a exemplo de:
 - Fossa seca, nas suas diversas modalidades
 - Tanque séptico + infiltração no solo
 - Tanque séptico + filtro anaeróbio

- Sistemas coletivos de tratamento de esgotos, a exemplo de:
 - Lagoa de estabilização
 - Aplicação no Solo
 - Tanque séptico + filtro anaeróbio
 - Reator anaeróbio de manta de lodo
 - Filtro biológico percolador

No que se refere aos sistemas coletivos de tratamento de esgotos, embora existam outras tecnologias que possam ser utilizadas, entende-se que, atualmente, no Brasil, as últimas cinco relacionadas anteriormente encontram uma maior aplicabilidade. De modo geral, todas elas atendem, em maior ou menor grau, aos principais requisitos que devem ser observados num estudo técnico-econômico de escolha das alternativas (Chernicharo, 2017).

Segundo Von Sperling, (1997) os principais requisitos atendidos pelas tecnologias citadas anteriormente são:

- Baixo custo de implantação;
- Elevada sustentabilidade do sistema, relacionada à pouca dependência de fornecimento energético, de peças e equipamentos de reposição etc.;
- Simplicidade operacional, de manutenção e controle (pouca dependência de operadores e engenheiros altamente especializados);
- Baixos custos operacionais
- Baixos requisitos de área;
- Elevada vida útil.

3.3 - DIGESTÃO ANAERÓBIA

O tratamento de esgotos por meio da digestão anaeróbia traz consigo muitas vantagens quando comparado à sistemas aeróbios. Segundo Chernicharo (2007) em princípio, todos os compostos orgânicos podem ser degradados pela via anaeróbia, sendo que o processo se mostra mais eficiente e mais econômico quando os dejetos são mais facilmente biodegradáveis. No Brasil, a utilização desses sistemas vem sendo amplamente difundida, as elevadas temperaturas médias anuais do nosso país são extremamente favoráveis para o correto funcionamento dessa tecnologia.

Na Tabela 3.2 são listadas as vantagens e desvantagens da utilização do tratamento

anaeróbio como fonte de tratamento de esgotos.

Tabela 3.2 Principais vantagem e desvantagens dos processos anaeróbios.

Vantagens	Desvantagens
Baixa produção de sólidos, cerca de 2 a 8 vezes inferior à que ocorre nos processos aeróbios;	Remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos insatisfatória;
Baixo consumo de energia, usualmente associado uma elevatória de chegada. Isso faz com que o sistema tenha custo operacional muito baixo;	Produção de efluente com aspecto desagradável e usualmente com qualidade insuficiente para atender os padrões ambientais. Em decorrência, alguma forma de pós-tratamento é normalmente necessária;
Baixa demanda de área;	Possibilidade de distúrbios devido a choques de carga orgânica e hidráulica, presença de compostos tóxicos ou ausência de nutrientes;
Baixos custos de implantação, da ordem de 20 a 30 dólares per capta;	Bioquímica e a microbiologia da digestão anaeróbia são complexas e ainda precisam ser mais estudadas;
Produção de metano, um gás combustível de elevado teor calorífico;	A partida do processo pode ser lenta, na ausência de lodo de semeadura adaptado;
Possibilidade de preservação da biomassa, sem alimentação do reator, por vários meses;	Possibilidade de geração de maus odores e de problemas de corrosão, porém controláveis.
Tolerância a elevadas cargas orgânicas;	
Baixo consumo de nutrientes.	

Fonte: Chernicharo, 2007

Chernicharo, (2007) destaca ainda que nos sistemas anaeróbios, a maior parte do material orgânico biodegradável presente no despejo é convertida em metano (cerca de 50 a 70%), que é removido da fase líquida e sai do reator na fase gasosa. Apenas uma pequena parcela do material orgânico é convertida em biomassa microbiana (cerca de 5 a 15%), formando o lodo excedente do sistema. Além da pequena quantidade produzida, o lodo excedente apresenta-se, via de regra, mais concentrado e com melhores características de desidratação quando comparado com o lodo produzido em reatores aeróbios. O material não convertido em biogás ou em biomassa sai do reator como material não degradado (10 a 30%). De acordo com Chernicharo, (2007), estimou-se na época que existiam mais de 400 reatores anaeróbios tipo UASB tratando esgoto doméstico no Brasil, a maioria deles localizados no estado do Paraná, da Bahia, de Minas Gerais e no Distrito Federal.

A Figura 3.1 aponta o balanço esquemático da transformação da matéria orgânica dentro do reator anaeróbico.

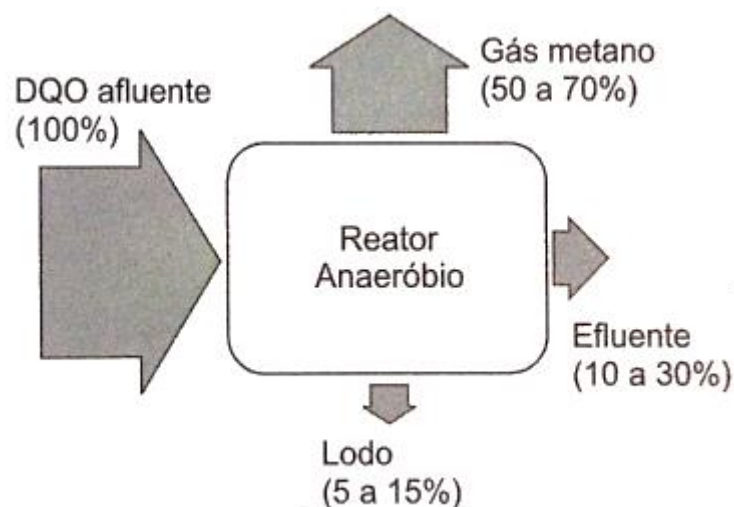


Figura 3-1- Balanço esquemático de DQO no sistema anaeróbico adaptado de Chernicharo (2007).

3.3.1 Microbiologia da digestão anaeróbia

O precesso da digestão anaeróbia possui, muitas vezes, esquemas simplificados com o intuito de tornar o entendimento mais simples, mas, na verdade, se trata de um processo complexo e que deve ser mais estudado para seu melhor entendimento.

A digestão anaeróbia representa um sistema ecológico delicadamente balanceado, envolvendo processos metabólicos complexos, que ocorrem em etapas sequenciais e que dependem da atividade de, no mínimo, três grupos fisiológicos de microrganismos: i) bactérias fermentativas (ou acidogênicas); ii) bactérias sintróficas (ou acetogênicas); e iii) microrganismos metanogênicos (Chernicharo, 2007).

Cada um desses grupos de micro-organismos é responsável por uma etapa na decomposição da matéria orgânica presente nos esgotos, além disso cada uma das etapas usa, como reagente, o produto da fase antecessora. No total podem ser consideradas três ou quatro etapas de decomposição anaeróbia, que ao final de todo o processo libera CH_4 e CO_2 . A Figura 3.2 explica as possíveis rotas pelo processo de decomposição anaeróbia:

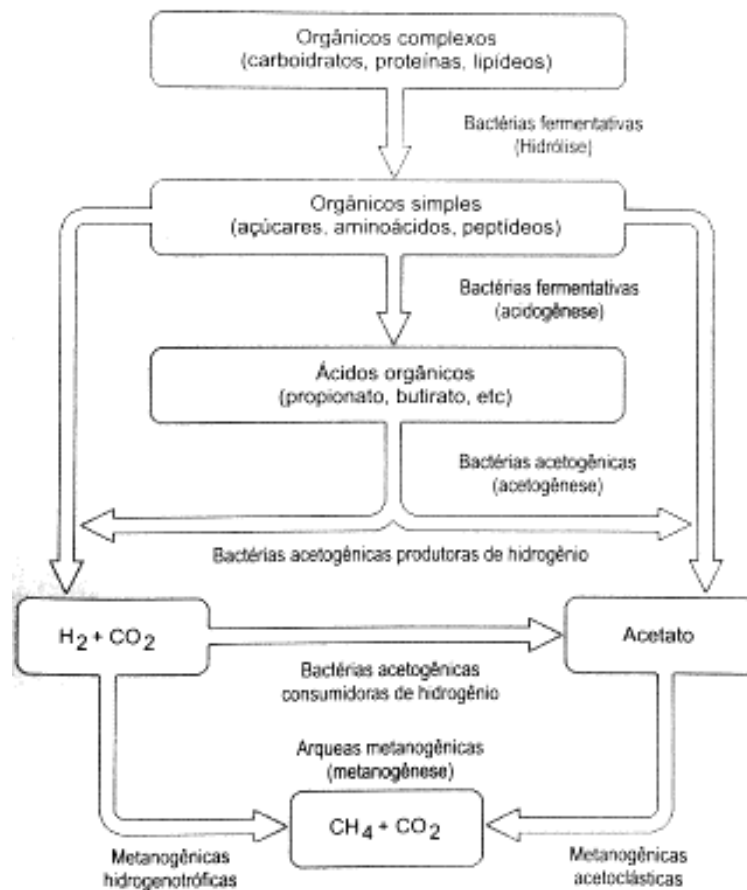


Figura 3-2 Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia. Fonte: Chernicharo (2007).

Para que ocorra a assimilação da matéria orgânica pelos microrganismos, é necessário que o composto orgânico se encontre dissolvido na água. Porém, ao chegar nas estações de tratamento de esgoto, a matéria orgânica encontra-se em suspensão. É nesse ponto que ocorre a primeira etapa do processo de digestão, a hidrólise e acidogênese. As bactérias fermentativas hidrolíticas convertem os materiais particulados complexos em materiais mais simples, possibilitando a atuação das bactérias acidogênicas. Na anaerobiose, a hidrólise dos polímeros usualmente ocorre de forma lenta, sendo vários os fatores que podem afetar o grau e a taxa em que o substrato é hidrolisado (Lettinga *et al.*, 1996) apud Chernicharo (2007):

- Temperatura operacional do reator;
- Tempo de residência do substrato no reator;
- Composição do substrato
- Tamanho das partículas;
- pH do meio;

- Concentração de $\text{NH}_4 - \text{N}$
- Concentração de produtos da hidrólise.

Os produtos solúveis, oriundos da fase de hidrólise, são metabolizados no interior das células, por meio do metabolismo fermentativo. A maioria dos microrganismos acidogênicos fermenta açúcares, aminoácidos e ácidos graxos, resultantes da hidrólise da matéria orgânica complexa, e produzem diversos compostos mais simples, a exemplo de ácidos orgânicos (principalmente acético, propiônico e butírico), álcoois (etanol), cetonas (acetona), dióxido de carbono e hidrogênio, além de novas células bacterianas. Microrganismos fermentativos são os primeiros a atuar na etapa sequencial da degradação do substrato, e são os que mais se beneficiam energeticamente. Dessa forma, a etapa acidogênica só será limitante do processo se o material a ser degradado não for facilmente hidrolisável. Como os ácidos orgânicos são o principal produto dos organismos fermentativos, estes são usualmente designados de bactérias acidogênicas (Chernicharo, 2007).

O produto final da fermentação acetogênica gera os substratos que serão utilizados na fase posterior do processo de digestão anaeróbia por meio da ação de bactérias sintróficas acetogênicas. Esses microrganismos são responsáveis pela conversão dos substratos gerados na fase anterior em produtos que serão utilizados por microrganismos metanogênicos na fase seguinte, por isso essa etapa é considerada intermediária.

Segundo McCarty (1971) apud Chernicharo (2007), a grande importância dos organismos acetogênicos, no processo de digestão anaeróbia, decorre do fato de que cerca de 60 a 70% dos elétrons do substrato original são canalizados para a produção de acetato. Em decorrência, a remoção de DQO da fase líquida depende da conversão de acetato em metano, o que é feito pelos organismos metanogênicos acetoclásticos (Chernicharo, 2007). Há um segundo grupo de bactérias capazes de produzir metano, as bactérias metanogênicas hidrogenotróficas.

Segundo Chernicharo (2007), a etapa final do processo global de conversão anaeróbia de compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono é efetuada pelos microrganismos metanogênicos, atualmente classificados dentro do domínio *Archea*, um grupo verdadeiramente reconhecido como distinto das bactérias típicas. Nessa etapa existem dois grupos que, através da respiração anaeróbia, fazem a conversão final do substrato em metano. A diferença básica entre um e outro é a forma como o metano é produzido. As arqueias metanogênicas acetoclasticas realizam o acetato como fonte de carbono e energia e

geram, como produto final, gás carbônico e metano. Esse grupo é predominante no processo de metanogênese, sendo responsável por cerca de 60 a 70% da produção de metano. As arqueias hidrogenotróficas que utilizam o gás carbônico como fonte de carbono para realizar a recepção de elétrons e para a obtenção de energia, é utilizado o hidrogênio.

Como dito anteriormente, a digestão anaeróbia pode ser realizada em 3 ou 4 etapas. O processo citado anteriormente é realizado em 3 etapas, podendo ainda haver o processo denominado sulfetogênese. A produção de sulfetos é um processo no qual o sulfato e outros compostos à base de enxofre são utilizados como aceptores de elétrons, durante a oxidação de compostos orgânicos. Neste processo, sulfato, sulfito e outros compostos sulfurados são reduzidos a sulfeto, através da ação de um grupo de bactérias anaeróbias estritas, dominadas bactérias redutoras de sulfato (ou bactérias sulforedutoras) (Chernicharo, 2007).

3.3.2 Fatores que influenciam na digestão anaeróbia

Para que possa existir a atividade microbiana dentro do ambiente artificialmente criado dentro de um reator, é necessário controlar algumas principais características, caso contrário os microrganismos presentes morrerão ou as condições favorecerão a atuação de uma espécie de microrganismo não desejados.

Tanto as características físicas, quanto as químicas influenciam no crescimento microbiano. Fatores físicos, em geral, atuam como agentes seletivos, enquanto os fatores químicos podem ou não ser seletivos (Chernicharo, 2007).

A digestão anaeróbia apresenta um ganho energético baixo além de necessitar de interação de grupos microbianos, ou seja, trata-se de um fenômeno frágil, que pode ser facilmente perturbado, interrompendo a atuação dos seres decompositores. A digestão anaeróbia é particularmente suscetível a um controle rigoroso das condições ambientais, uma vez que o processo requer uma interação dos microrganismos fermentativos e metanogênicos. Dessa forma, o sucesso do processo depende de um balanço delicado do sistema ecológico. Atenção especial deve ser dispensada aos microrganismos metanogênicos, considerados os mais vulneráveis às mudanças das condições ambientais. Os principais requisitos ambientais da digestão anaeróbia são comentados a seguir:

3.3.2.1 Nutrientes

A estimativa da quantidade de nutrientes suficiente para manter regularmente as atividades microbianas dentro dos reatores é calculada a partir da composição química dos microrganismos. Lettinga *et al.* (1996) apud Chernicharo (2007) apresenta a Equação 3.3,

que aponta a quantidade mínima de nutrientes necessária:

$$R_{nut} = S_0 \times Y \times C_{nut} \times \frac{SST}{SSV} \quad \text{Equação 3.3}$$

em que:

R_{nut} = requisito de nutriente (g/L);

S_0 = concentração de substrato afluente ao reator (gDQO/L);

Y = coeficiente de produção de biomassa (gSSV/gDQO);

C_{nut} = concentração de nutriente na célula bacteriana (g/gSST);

$\frac{SST}{SSV}$ = relação sólidos totais/sólidos voláteis para a célula bacteriana.

As bactérias que realizam a digestão da matéria orgânica necessitam que haja, também, compostos inorgânicos no substrato a ser digerido. Segundo Chernicharo (2007), os esgotos sanitários (domésticos) geralmente apresentam todos os tipos apropriados de nutrientes em concentrações adequadas, tornando, dessa forma, o ambiente ideal para o crescimento, sem limitações para o processo de digestão anaeróbia. Acrescenta, ainda, que uma possível exceção é a disponibilidade de ferro que pode ser inibidora da atividade microbiana. A ordem decrescente de importância dos nutrientes que são necessários para a manutenção da atividade microbiana são: nitrogênio, enxofre, fósforo, ferro, cobalto, níquel, molibdênio, sênio riboflavina e vitamina B₁₂.

Nitrogênio e Fósforo

Geralmente, o nitrogênio é o nutriente inorgânico requerido em maiores concentrações para o crescimento dos microrganismos. Em condições anaeróbias, o nitrogênio, nas formas de nitrito e nitrato, não se encontra disponível para o crescimento bacteriano, uma vez que este é reduzido a nitrogênio gás e liberado na atmosfera (Chernicharo, 2007). De acordo com Lettinga *et al.* (1996) apud Chernicharo (2007), as seguintes relações podem ser usadas para quantificar os nutrientes:

- Biomassa com baixo coeficiente de produção celular ($Y \sim 0,05$ gSSV/gDQO)
DQO:N:P = 1000:5:1
C:N:P = 330:5:1
- Biomassa elevado coeficiente de produção celular ($Y \sim 0,15$ gSSV/gDQO)
DQO:N:P = 350:5:1
C:N:P = 130:5:1

Na prática, o que vem sendo utilizado para concentração de fósforo é a quantidade

de 1/5 a 1/7 da quantidade de nitrogênio presente.

Enxofre

A maioria dos microrganismos, incluindo os metanogênicos, utiliza o sulfeto como fonte de enxofre, embora alguns possam utilizar a cisteína. Se o sulfato inorgânico estiver presente, este é reduzido a sulfeto, em um processo denominado redução desassimilativa do sulfato, reagindo então com o aminoácido serine para formar o enxofre contendo o aminoácido cisteína. O enxofre é necessário para a síntese de proteínas (Chernicharo, 2007).

Existem alguns fatos que diminuem a preocupação com as quantidades de enxofre presente, os esgotos domésticos, geralmente, apresentam quantidades suficientes de enxofre, suprimindo as atividades microbianas, além disso existe a presença de H₂S no biogás gerado na digestão, ocorre síntese microbiana de sulfeto e precipitação de sulfetos pelos metais pesado.

A quantidade necessária de enxofre é próxima à de fósforo, porém a quantidade de enxofre não pode sofrer grandes alterações, visto que em grandes quantidades o enxofre favorece uma espécie microbiana não desejada na digestão anaeróbia. Assim sua faixa de concentração é curta.

Micronutrientes

Os micronutrientes são compostos por ferro, cobalto, o níquel, e o molibdênio entre outros menos importantes. Esses compostos são importantes para o processo da digestão, compondo cerca de 4% do peso seco das micromoléculas das células. A quantidade desejada dessa classe é difícil de ser determinada, adotando-se, como solução, a aplicação em pulsos desses nutrientes.

3.3.2.2 Temperatura

As bactérias são animais heterotérmicos, ou seja, não conseguem regular sua temperatura interna. A temperatura do meio externo vai selecionar os microrganismos presentes no mesmo. Assim, a temperatura é uma das características físicas mais importantes do sistema.

Os microrganismos são classificados em três faixas de atuação:

- Faixa psicrófila: entre 4 e aproximadamente 15°C;
- Faixa mesófila: entre 20 e aproximadamente 40°C;
- Faixa termófila: entre 45 e 70°C, e acima.

Para cada uma das faixas de temperatura acima há uma faixa menor, denominada temperatura *ótima* de atuação.

A formação microbiana do metano pode ocorrer numa faixa bastante ampla de temperatura (0° a 97°C). Dois níveis ótimos de temperatura têm sido associados à digestão anaeróbia, um na faixa mesófila (30 a 35°C) e outro na faixa termófila (50 a 55°C). A maioria dos digestores anaeróbios têm sido projetados na faixa mesófila, embora também seja possível a operação destes na faixa termófila. Entretanto, a experiência da operação de digestores anaeróbios nesta ainda não tem sido totalmente satisfatória, existindo ainda muitas questões, se os benefícios advindos superam as desvantagens incluindo o suplemento de energia necessário para aquecer os digestores a má qualidade do sobrenadante e a instabilidade do processo (Chernicharo, 2007).

Além de influenciar na atividade microbiana, a temperatura afeta também a termodinâmica dentro do reator, influência na formação de produtos ou reagentes, através do deslocamento do equilíbrio químico. Essas mudanças podem alterar, por exemplo, o pH da água residuária, podendo prejudicar a atuação bacteriana.

3.3.2.3 pH e alcalinidade

Segundo Lettinga *et al.* (1996) apud Chernicharo (2007), o efeito do pH pode afetar o processo biológico de duas formas principais:

- Diretamente: afetando, por exemplo, a atividade de enzimas, como é o caso da alteração de suas estruturas proteicas, que pode ocorrer de maneira drástica, como resultado de mudanças de pH;
- Indiretamente: afetando a toxicidade de um número de compostos.

A faixa de atuação dos microrganismos no processo de produção de metano varia entre 6,0 e 8,0, e possui o ótimo de atuação na faixa mais restrita de 6,6 e 7,4. Vale lembrar que a faixa de pH é relacionada ao tipo de microrganismo atuante no processo, assim, essa faixa pode mudar de acordo com a espécie presente no reator. Valores de pH abaixo de 6,0 e acima de 8,3 devem ser evitados, uma vez que estes podem inibir por completo os microrganismos formadores de metano (Chernicharo, 2007).

Em relação a alcalinidade, o fator mais importante é a capacidade de tamponamento do sistema. A relação entre eles será melhor explicada no próximo item.

O efeito de tamponamento é uma característica de um sistema aquoso resistir a alterações no valor do pH. “Uma solução tampão consiste na mistura de um ácido fraco com seu sal

correspondente, possibilitando, dessa forma, o agrupamento dos íons H^+ e OH^- e evitando, tanto o aumento, quanto o abaixamento do pH.” (Chernicharo, 2007). A alcalinidade reflete no efeito de tamponamento da solução atuando na mudança do equilíbrio.

3.4 REATORES ANAERÓBIOS DE MANTA DE LODO – UASB

Os reatores de manta de lodo, apesar de possuírem muitas vantagens, citadas anteriormente, possuem também alguns pontos negativos quando comparados aos reatores aeróbios, segundo Chernicharo (2007), que merecem ser citados:

- Possibilidade de emissão de maus odores;
- Baixa capacidade do sistema em tolerar cargas tóxicas;
- Elevado intervalo de tempo necessário para a partida do sistema;
- Necessidade de uma etapa de pós-tratamento.

Assim como citado acima, o tempo de partida dos reatores UASB são consideravelmente longos, podendo chegar a períodos que variam de 4 a 6 meses.

Apesar de possuir vantagens atrativas, os reatores UASB, geralmente, não produzem efluentes que atendem os padrões ambientais de lançamento, sendo necessário incluir outra etapa de tratamento, visando ajustar as características do efluente nas normas legais. Tal aspecto ganha relevância, na medida em que os órgãos ambientais estaduais têm intensificado a sua fiscalização e atuando efetivamente no licenciamento ambiental de novos empreendimentos no setor de saneamento. (Chernicharo, 2007)

O projeto de um reator de manta de lodo não é em si um processo complexo. Não existe um manual com o passo a passo do projeto de um reator desse tipo, é de extrema importância que seja criado um material contendo informações claras sobre o projeto desses reatores.

3.4.1 Descrição do Reator

Para dar partida no sistema é necessário, primeiramente inocular os microrganismos digestores na parte inferior do reator. Após a inoculação, lentamente, dá-se início à alimentação do sistema, essa fase é denominada *start up*, a fase mais importante do sistema. Após o início propriamente dito, as cargas de alimentação do reator aumentam gradualmente de acordo com respostas positivas dos microrganismos atuantes. A parte do reator onde ficam os microrganismos inoculados é denominada de leito de lodo, nessa região se encontram as partículas de maior densidade e com características mais favoráveis à sedimentação. A concentração de partículas nessa região varia de 4% até 10%.

Acima da região do leito de lodo se estabelece a manta de lodo, composta por

material particulado com velocidade de sedimentação menor do que a das partículas do leito. A concentração de lodo na região varia de 1,5% até 3%. O gás gerado pela digestão no leito do reator proporciona a mistura constante da região da manta, fenômeno indispensável para o sistema.

As bolhas geradas pela digestão muitas vezes acabam carreando partículas de lodo para a parte superior do UASB. Esse fenômeno é indesejado e para que ele não ocorra é necessário instalar um sistema de separação trifásica na parte superior do reator. Esse mecanismo serve como uma barreira física que separa os sólidos, o líquido e os gases, garantindo o retorno do lodo para o reator. A Figura 3.3 apresenta um desenho esquemático das características físicas do interior de um reator UASB.

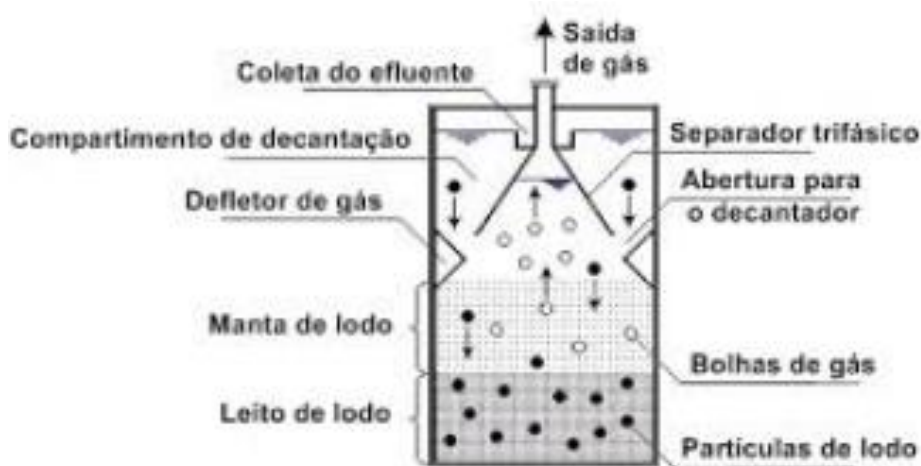


Figura 3-3– Desenho esquemático de um reator UASB. Fonte: Chernicharo (2007).

Quando comparado com outras tecnologias de tratamento da mesma geração, o reator de manta de lodo apresenta capacidade de suportar altas taxas de cargas orgânicas.

Segundo Chernicharo (2007), são os seguintes os princípios mais importantes que governam a operação de um reator de manta de lodo:

- As características do fluxo ascendente devem assegurar o máximo de contato entre a biomassa e o substrato;
- Os curtos-circuitos devem ser evitados, de forma a garantir tempos de retenção suficientes para a degradação da matéria orgânica;
- O sistema deve ter um serrador trifásico bem projetado, capaz de separar de forma adequada o biogás, o líquido e os sólidos, liberando os dois primeiros e permitindo a retenção do último;
- Lodo na região da manta deve ser bem adaptado, com altas atividade metanogênica específica (AME) e excelente sedimentabilidade. Se possível,

o lodo deve ser granulado, uma vez que esse tipo de lodo apresenta características bem melhores que as do lodo floculento.

3.4.2 Problemas usuais da Operação de Reatores UASB

Alguns dos problemas operacionais dos reatores anaeróbios merecem destaque para que sejam evitados e serão citados a seguir.

3.4.2.1 Obstrução dos dispositivos de entrada e de saída do reator

A obstrução física dos dispositivos de entrada e saída dos reatores UASB ocorre em função de partículas de tamanho suficientemente grande para impedir a entrada ou saída o fluido. Para evitar esse fato é necessário atuar no tratamento preliminar. As barras de retenção devem ter abertura suficientemente pequenas para barrar partículas de 20mm que são prejudiciais ao funcionamento do reator. Essas medidas já vêm sendo tomadas para impedir a entrada de partículas com essas dimensões nos reatores.

3.4.2.2 Geração de odores e ocorrência de corrosão

Os maus odores são provenientes de uma mistura complexa de moléculas com enxofre (H_2S e mercaptanas), nitrogenadas (NH_3 e aminas), fenóis, aldeídos, álcoois, ácidos orgânicos etc. Nas estações de tratamento, estes compostos estão presentes em diversos níveis (...) (Chernicharo, 2007). Para evitar esse evento deve ser implementada a dentro da ETE a gestão da emissão de odores, que irá adotar medidas para prevenir a formação ou tratar os gases gerados.

A corrosão é resultado da atuação, principalmente, do gás sulfídrico (H_2S) gerado no processo de tratamento. Para evitar a produção desse gás devem ser analisados os principais fatores que levam à formação do mesmo, como, pH, temperatura do meio, concentração de compostos de enxofre no afluente, competição entre arqueias metanogênicas e as bactérias redutoras de sulfato, dentre outros.

3.4.2.3 Formação e acumulação de escumas

A espuma constitui-se em uma camada de materiais flutuantes que se desenvolve na superfície de reatores anaeróbio. Em reatores UASB, a formação de espuma pode ocorrer

em dois locais distintos: i) **no interior do separador trifásico**, na interface da liberação dos gases formados durante a digestão anaeróbia; e ii) **na superfície do decantador** (Chernicharo, 2007).

Segundo Neder (1998), os reatores UASB presentes na ETE Paranoá, apesar de estarem operando com as eficiências previstas em projeto, apresentaram produção de escumas acima do esperado. Esse fato pode estar sendo ocasionado por presença de gorduras no efluente, sendo necessário removê-las para não comprometer o desempenho do reator.

3.4.2.4 Geração de espuma

A espuma gerada durante o processo de tratamento de esgoto é consequência da presença de produtos surfactantes, geralmente presentes em produtos de limpeza como os detergentes. A grande parcela de contribuição de efluentes domésticos e provenientes de lavanderias faz com que, muitas vezes, a água residuária possua grande quantidade desses produtos, gerando espuma durante o processo de tratamento.

3.5 DIRETRIZES, CRITÉRIOS E PARÂMETROS DE PROJETO

Um dos aspectos mais importantes do processo anaeróbio, através de reatores de manta de lodo, é a sua habilidade em desenvolver e manter um lodo de elevada atividade e de excelentes características de sedimentação. Para que isso ocorra, diversas medidas devem ser observadas em relação ao projeto e à sua operação (Chernicharo, 2007).

Os tópicos a seguir citaram passos a serem seguidos no processo de dimensionamento de um reator UASB para efluentes domésticos.

3.5.1 Pré-tratamento dos esgotos

Os reatores UASB são dimensionados para atuar com vazões de projeto em escalas menores, quando comparado com outros reatores anaeróbios convencionais. Esse fato faz com que a entrada de partículas que não são biodegradáveis se torne um grande problema acarretando em problemas como, zonas mortas e proporcionando caminhos preferenciais. Assim, torna-se indispensável a existência de uma etapa anterior de tratamento, visando barrar partículas com dimensões maiores que 15mm de diâmetro. Além disso, em alguns casos, atualmente, vêm-se aplicando a remoção de gorduras a fim de evitar a geração de

escuma no reator, melhorando seu funcionamento.

Segundo Chernicharo (2007), com base na experiência recente de operação de reatores UASB, tratando esgotos domésticos, são feitas as seguintes recomendações principais para o projeto das unidades que compõem o sistema de tratamento preliminar:

- Para estações de pequeno porte: utilização de grade média (espaçamento entre 20 e 40mm), seguida de grandes finas (abertura de 10 e 15mm) ou ultrafinas (abertura entre 6 e 10mm);
- Para estações de médio e grande porte: utilização de grade grosseira (espaçamento entre 40 e 100mm), seguida de grandes finas (abertura de 10 e 20mm) e de peneiras (abertura entre 0,5 e 6mm);
- Para estações de qualquer porte: no caso de utilização de desarenador de fluxo horizontal e seção retangular ou quadrada, o dimensionamento deverá considerar taxas de escoamento superficial máximas de 1.000m³/m².d.

3.5.2 Carga hidráulica volumétrica e tempo de detenção hidráulica

A carga hidráulica volumétrica (Equação 3.4) é a quantidade volumétrica de esgoto que passa pelo reator diariamente, por unidade de volume do reator. O tempo de detenção (Equações 3.5 e 3.6) é o tempo que uma parcela imaginária de fluido fica retida no reator sofrendo a digestão anaeróbia.

$$CHV = \frac{Q}{V} \quad \text{Equação} \quad 3.4$$

na qual:

CHV: carga hidráulica volumétrica (m³/m³.d);

Q: vazão (m³/d);

V: volume total do reator (m³).

$$t = \frac{1}{CDV} \quad \text{Equação} \quad 3.5$$

na qual:

t: tempo de detenção hidráulica (d)

ou

$$t = \frac{V}{Q} \quad \text{Equação} \quad 3.6$$

Segundo Chernicharo (2007), estudos experimentais demonstram que a carga

hidráulica volumétrica não deve ultrapassar o valor de 5,0 m³/m³. d, o que equivale a um tempo de detenção hidráulica mínimo de 4,8 horas (= 1/5 x 24h). Valores superiores ao indicado anteriormente podem acarretar em problemas como: perda excessiva de biomassa do sistema devido ao arraste, redução do tempo de residência celular (idade do lodo) e aumenta a possibilidade de falha do sistema.

Um dos fatores que exerce mais influência no tempo de detenção é a temperatura. O aumento da temperatura de um sistema, a princípio, é favorável aos processos biológicos. Assim, quanto menor a temperatura, respeitando os limites mínimos maior será o tempo necessário para a decomposição dos compostos e, analogamente, quanto maior a temperatura, respeitando os limites máximos, menos tempo será necessário. A Tabela 3-3 apresenta faixas de valores de temperatura, relacionados aos seus respectivos tempos de detenção recomendados.

Tabela 3.3 Tempos de detenção hidráulica para o projeto de reatores UASB.

Temperatura do esgoto (°C)	Tempo de detenção hidráulica (h)	
	Para Qmédia	Para Qmáxima
15 a 18	≥10,0	≥7,0
18 a 22	≥8,0	≥5,5
22 a 25	≥7,0	≥4,5
> 25	≥6,0	≥4,0

Fonte: Chernicharo (2007).

Dessa forma, conhecendo-se a vazão afluente e de acordo com a temperatura, o tempo de detenção, é possível encontrar o volume (m³) do reator através da Equação 3.7:

$$V = Q \times t \quad \text{Equação} \quad 3.7$$

Na qual:

V: Volume do reator (m³);

Q: Vazão efluente (m³/s);

t: Tempo de detenção (s).

3.5.3 Carga orgânica volumétrica

Define-se a carga orgânica volumétrica como a quantidade (massa) de matéria orgânica aplicada diariamente ao reator, por unidade de volume do mesmo, conforme a Equação 3.8:

$$Cv = \frac{Q \times S0}{V} \quad \text{Equação} \quad 3.8$$

na qual:

Cv : carga orgânica volumétrica (KgDQO/m³.d);

Q : vazão (m³/d);

$S0$: concentração de substrato afluente (KgDQO/m³);

V : volume total do reator (m³).

Com essa equação, conhecendo-se os valores da vazão e a concentração do esgoto e admitindo-se determinada carga orgânica volumétrica, é possível calcular o volume do reator, isolando-o na fórmula. A Figura 3.4 apresenta a relação entre o volume do reator e a concentração de substratos, fixando-se os parâmetros “t”, “Q” e “Cv”.

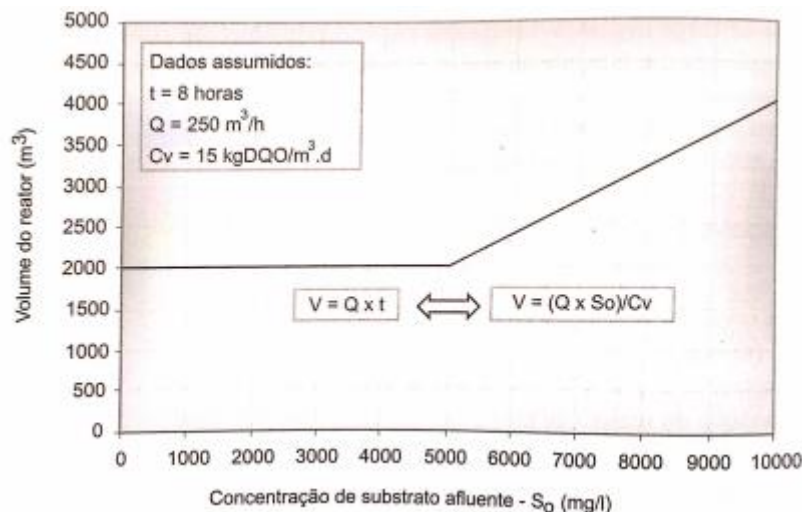


Figura 3-4 Relação entre concentração do despejo e volume do reator. Fonte: Lettinga (1996) apud Chernicharo (2007).

3.5.4 Carga biológica (carga de lodo)

Segundo Chernicharo (2007), a carga biológica ou carga de lodo refere-se à quantidade (massa) de matéria orgânica aplicada diariamente ao reator, por unidade de biomassa presente no mesmo, conforme mostra a Equação 3.9:

$$Cb = \frac{Q \times S0}{M} \quad \text{Equação} \quad 3.9$$

na qual:

Cb : carga orgânica biológica ou carga de lodo (KgDQO/KgSTV.d)

Q : vazão (m³/d)

$S0$: concentração de substrato afluente (KgSTV)

De acordo com Chernicharo (2007), a bibliografia especializada recomenda que as cargas biológicas iniciais, durante a partida de um reator anaeróbio, sejam da ordem de 0,05 a 0,15 KgDQO/KgSTV.d, dependendo do tipo do efluente sendo tratado. Estas cargas devem ser aumentadas gradativamente, em função da eficiência do sistema. O autor complementa ainda que a carga orgânica máxima depende da atividade metanogênica do lodo e que lodos domésticos apresentam atividade metanogênica na faixa de 0,1 a 0,4 KgDQO/kgSTV.d, sendo este o limite estabelecido para o valor de carga orgânica.

3.5.5 Velocidade superficial do fluxo

A velocidade superficial do fluxo é calculada a partir da relação entre a vazão do esgoto afluente e a área do corte transversal do reator, conforme a Equação 3.10:

$$v = \frac{Q}{A} \quad \text{Equação 3.10}$$

onde:

v : velocidade superficial ou ascensional do fluxo (m/h);

Q : vazão (m³/h);

A : área da seção transversal do reator (m²).

ou, a partir da razão entre a altura e o tempo de detenção hidráulica, conforme a Equação 3.11:

$$v = \frac{Q \times H}{V} = \frac{H}{t} \quad \text{Equação 3.11}$$

Onde:

H : altura do reator (m).

Segundo Chernicharo (2007), a velocidade do fluxo também depende das cargas aplicadas e do tipo de lodo. Para reatores operando com lodo tipo floculento e com cargas orgânicas de até 5,0 a 6,0 KgDQO/m³. d, as velocidades superficiais médias devem ser da ordem de **0,5 a 0,7 m/h**, sendo tolerados picos temporários, durante 2 a 4 horas, de até 1,5 a 2,0 m/h. Para reatores operando com lodo tipo granular, as velocidades superficiais podem ser significativamente maiores, até mesmo da ordem de 10 m/h. Para o caso de tratamento de esgotos domésticos, recomendam-se os seguintes velocidades superficiais de fluxo, conforme mostra a Tabela 3.4:

Tabela 3.4 Velocidade superficiais recomendadas para o projeto de reatores UASB, tratando esgotos domésticos.

Vazão Afluente	Velocidade superficial (m/h)
Vazão média	0,5 a 0,7
Vazão Máxima	$\leq 1,1$
Picos temporários*	$\leq 1,5$

(*) picos de vazão com duração entre 2 e 4 horas. Fonte: Chernicharo (2007)

A Figura 3.5 relaciona o tempo de detenção hidráulica (t) e a velocidade superficial (v) recomendados para tratamento de esgoto doméstico com temperaturas entre 20 e 26°C, variando a altura (H) dos reatores de 3 a 6 metros.

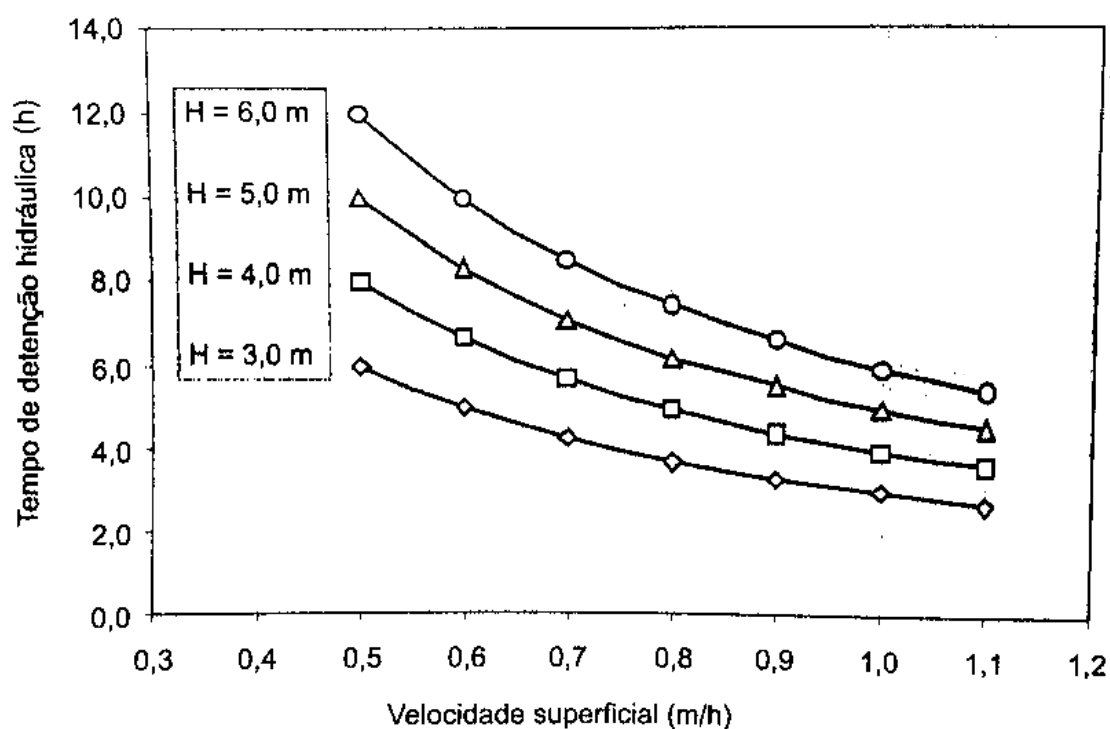


Figura 3-5: Relação entre a velocidade superficial e o tempo de detenção hidráulica, para diferentes alturas de reator. Fonte: Chernicharo (2007).

3.5.6 Altura do reator

Segundo Chernicharo (2007), a altura de reatores de manta de lodo é função do tipo de lodo, das cargas orgânicas aplicadas e/ou cargas hidráulicas volumétrica, que definem as velocidades ascendentes impostas ao sistema. No caso de tratamento de esgotos domésticos em se tratando de reatores com lodo tipo floculento, os reatores devem possuir alturas úteis entre 4,0 e 5,0m, assim distribuídas:

- Altura do compartimento de decantação: 1,5 a 2,0 m;

- Altura do compartimento de digestão: 2,5 a 3,5m.

É recomendado, ainda, que a profundidade do compartimento de digestão seja igual ou superior à 2,5m independente do caso.

3.5.7 Sistema de distribuição do afluente

O sistema de distribuição do afluente deve ser bem projetado para evitar problemas como o curto circuito. Esse fenômeno ocorre quando uma parcela do esgoto passa pelo reator sem sofrer digestão, assemelhando-se a um atalho dentro do reator. A distribuição do afluente deve proporcionar o contato entre o substrato e a biomassa. Segundo Chernicharo (2007), esse contato é particularmente mais importante para casos de esgotos com baixa concentração, como os domésticos, ou para casos em que a temperatura do substrato seja baixa. Outros casos que podem acarretar em curtos-circuitos são:

- Pequena altura do leito de lodo;
- poucos distribuidores do afluente;
- ocorrência de lodo com velocidades de sedimentação muito elevadas e/ou muito concentrados.

3.5.7.1 Compartimentos de Distribuição do Afluente

Deve-se buscar a distribuição igualitária do afluente, assim a mistura entre o substrato e o lodo presente será melhor, além disso, evita a existência de zonas mortas dentro do reator UASB. Desta forma, a divisão equitativa da vazão afluente, para os diversos tubos distribuidores, deve ser feita através de pequenos compartimentos (caixas), alimentados por vertedores, sendo que cada caixa alimenta um único tubo de distribuição que vai até o fundo do reator (Chernicharo, 2007). A implantação desses dispositivos na parte superior do reator permite a distribuição igualitária no fundo do reator além de permitir fácil manutenção, caso necessário.

3.5.7.2 Tubos de distribuição

Estes componentes são os responsáveis por encaminhar o afluente dos compartimentos de distribuição até o fundo do reator. Chernicharo (2007) sugere tais requisitos para esses tubos:

- Diâmetro deve ser suficiente para proporcionar uma velocidade descendente do esgoto inferior a 0,2m/s, de forma que possíveis bolhas de ar presentes possam subir e não atingir a biomassa no fundo do reator;
- Diâmetro deve ser grande o bastante para evitar que os sólidos presentes no esgoto não provoquem a obstrução frequente dos tubos;
- O diâmetro deve ser pequeno o suficiente para proporcionar uma maior velocidade de fluxo junto à sua extremidade inferior (fundo do reator), favorecendo a boa mistura e maior contato entre o leito de lodo.

Chernicharo (2007), complementa que as extremidades inferiores do fluxo devem ser instaladas a uma distância de 10 a 20cm do fundo do reator.

3.5.7.3 Número de distribuidores

O número de distribuidores é determinado de acordo com a relação entre a área de influência de cada distribuidor e a área de secção transversal do reator, como mostra a Equação 3.12 a seguir:

$$Nd = \frac{A}{Ad} \quad \text{Equação 3.12}$$

onde:

Nd= número de distribuidores;

A: área de secção transversal do reator (m²);

Ad: área de influência de cada distribuidor (m²).

A Figura 3.6 apresenta diretrizes para estimar a área de influência dos distribuidores em reatores UASB, em função do tipo de lodo e das cargas orgânicas aplicadas ao sistema.

Tipo de lodo	Carga orgânica aplicada (kgDQO/m ³ .d)	Área de influência de cada distribuidor (m ²)
Denso e flocculento (Concentração > 40 kgSST/m ³)	< 1,0	0,5 a 1,0
	1,0 a 2,0	1,0 a 2,0
	> 2,0	2,0 a 3,0
Medianamente denso e flocculento (Concentração 20 a 40 kgSST/m ³)	< 1,0 a 2,0	1,0 a 2,0
	> 3,0	2,0 a 5,0
Granular	< 2,0	0,5 a 1,0
	2,0 a 4,0	0,5 a 2,0
	> 4,0	> 2,0

Figura 3-6: Diretrizes preliminares para determinação da área de influência de distribuidores de vazão em reatores de manta de lodo. Fonte: Chernicharo (2007).

Para o caso de reatores tratando esgotos domésticos, usualmente desenvolve-se no sistema lodo do tipo floculento com características de concentração média a elevada. Em relação às cargas orgânicas aplicadas no sistema, estas são em geral da ordem de 1,0 a 3,0 KgDQO/m³. d. Nessas situações, e de acordo com as diretrizes apresentadas no quadro 3.5.7.3.1, verifica-se que a área de influência de cada distribuidor deve ser da ordem de 1,5 a 3,0 m² (Chernicharo, 2007).

3.5.8 Separador trifásico

Como foi mencionado anteriormente, o separador trifásico tem o objetivo de fazer a separação física entre o fluido, os gases e o material sólido. Ele mantém o lodo anaeróbio, que é carregado pelos gases, dentro do reator impedindo que haja perda de partículas digestoras. Esse dispositivo deve ser instalado na parte superior do reator e é fundamental para o correto funcionamento do sistema.

3.5.8.1 Separação dos gases

Assim como a maioria dos parâmetros construtivos do reator UASB, o separador trifásico terá suas dimensões definidas com base em algumas características do afluente e do lodo presente dentro do reator. Objetivando-se evitar a flotação do lodo e a consequente perda de biomassa do reator, as dimensões do separador devem ser tais que permitam a formação de uma interface líquido-gás no coletor. A taxa de liberação de biogás deve ser elevada o suficiente, para vencer uma possível camada de espuma, mas baixa o bastante para prontamente liberar o gás do lodo, não permitindo, dessa forma, o arraste e a consequente acumulação do lodo nas tubulações de saída de gás (Chernicharo, 2007). Segundo Souza et al (1986) recomenda que as taxas de liberação mínima de 1m³gás/m².h e máxima de 3 a 5m³gás/m². A Equação 3.13 determina a taxa de liberação de gás:

$$Kg = (Q_{biogás})/A_i \quad \text{Equação} \quad 3.13$$

na qual:

Kg : taxa de liberação de biogás (gás/m².h);

$Q_{biogás}$: produção volumétrica de biogás (m³/h);

A_i : área de interface líquido-gás (m²).

Chernicharo (2007) recomenda, ainda, que para o projeto da câmara de gás (parte interna do separador trifásico) de reatores UASB tratando esgotos domésticos, devem ser

seguidas as seguintes recomendações.

- A largura da parte superior (secção retangular da câmara) deve ser igual ou superior a 0,25m, a fim de promover seu correto funcionamento.
- Devem ser utilizados materiais impermeáveis ao gás e resistentes à corrosão. No caso de câmaras de gás construídas em concreto ou aço, é necessária a utilização de revestimentos que protejam a estrutura contra corrosão.

3.5.8.2 Separação dos sólidos

O local destinado à separação dos sólidos deve ter condições ideais para a sedimentação das partículas de lodo carregadas com os gases. Os principais fatores que influenciam a volta das partículas de lodo para o fundo do reator são a baixa velocidade ascensional e a ausência de bolhas nessa zona. Segundo Chernicharo (2007) as seguintes diretrizes básicas devem ser seguidas, para a construção desse compartimento:

- Instalação de defletores, localizados imediatamente abaixo das aberturas de passagem do compartimento de digestão para o compartimento de decantação, de forma a permitir a separação do biogás e proporcionar que apenas o líquido e os sólidos adentrem ao compartimento de sedimentação;
- Execução das paredes do compartimento de decantação com inclinações sempre superiores à 45°. Idealmente devem ser adotadas inclinações iguais ou superiores as 50°;
- Adoção de profundidade mínima do compartimento de decantação igual a 1,50m, sendo pelo menos 0,30m com parede vertical;
- Adoção de taxas de aplicação superficial e tempos de detenção hidráulica no compartimento de decantação de acordo com a Tabela 3.5.

Tabela 3.5 Taxas de aplicação superficial e tipos de detenção hidráulica no compartimento de decantação. Adaptado Chernicharo (2007).

Vazão Afluente	Taxa de aplicação superficial (m/h)	Tempo de detenção Hidráulica (h)
Vazão média	$\leq 0,8$	$\geq 1,5$
Vazão máxima	$\leq 1,2$	$\geq 1,0$
Picos temporários	$< 1,5$	$> 0,6$

Abertura de passagem para o decantador

Segundo Chernicharo (2007), as aberturas que possibilitam a passagem dos esgotos, do compartimento de digestão para o de decantação, devem ser projetadas de forma a

possibilitar:

- A separação dos gases, antes que os esgotos tenham acesso à zona de decantação. Para tanto, o projeto das aberturas deve prever uma superposição (trespasse) mínima de 0,10m do defletor de gases em relação à abertura de passagem, de forma a garantir a correta separação das fases gasosas e líquida;
- A retenção dos sólidos no compartimento de digestão, através da manutenção de velocidades nas aberturas inferiores às faixas recomendadas na Tabela 3.6;
- O retorno dos sólidos sedimentados no decantador, para o compartimento de digestão. Esse retorno dos sólidos deve ocorrer a partir da previsão de inclinações adequadas das paredes do decantador e dos defletores de gases e da manutenção de velocidades compatíveis através das aberturas.

A Equação 3.14, que rege a velocidade através das aberturas, é mostrada a seguir:

$$v_{ab} = Q/A_{ab} \quad \text{Equação} \quad 3.14$$

na qual:

v_{ab} : velocidade através da abertura de passagem para o decantador (m/h);

Q : vazão de esgotos (m³/h);

A_{ab} área livre da abertura de passagem para o decantador (m²).

Tabela 3.6 Velocidades através das aberturas de passagem para o decantador. Adaptada de Chernicharo (2007).

Vazão Afluente	Velocidade (m/h)
Vazão média	$\leq 2,5$
Vazão máxima	$\leq 4,0$
Picos temporários	$< 5,5$

Tempo de detenção

O tempo de detenção mínimo recomendado é de 4,8 horas (considerando vazão média). Segundo Chernicharo (2007), verificações efetuadas em projetos já implantados têm indicado que os tempos de detenção para as vazões médias de início e final de plano nem sempre se encontram dentro da faixa preconizada. Em casos de alimentação por estações elevatórias, a tendência é que o tempo seja reduzido.

3.5.9 Sistema de coleta de efluente

O sistema de coleta de efluente pode ser feito de duas formas principais: por meio de canaletas com vertedores triangulares ou por meio de tubos perfurados submersos. Para o primeiro caso, devem ser observados dois fatores importantes. O nivelamento da calha deve

ser preciso, caso contrário, a vazão de entrada irá ocorrer de forma diferente nos diversos pontos de coleta, efeito indesejado. O segundo ponto é relacionado a possibilidade da liberação de gases provocado pela turbulência gerada pelas calhas. Já para o caso dos tubos submersos, é aconselhada a utilização desses dispositivos pelos seguintes aspectos, segundo Chernicharo (2007):

- por serem dispositivos submersos, a manutenção de vazões uniformes nos furos é favorecida, sendo menos importantes os requisitos de nivelamento dos tubos;
- a utilização de tubos afogados diminui ou elimina os riscos de turbulência, assim como a liberação de gases e mau odores;
- com a coleta submersa, não há necessidade de se utilizar retentores de espuma, uma vez que o efluente é retirado abaixo do nível da camada de espuma.

Chernicharo (2007) cita que um problema relacionado a esse dispositivo é a possibilidade de obstrução dos furos, causados por partículas grandes.

3.5.10 Eficiência dos reatores UASB

A eficiência dos reatores anaeróbios tipo UASB, atualmente, é medida por relações empíricas. Estudos realizados com dezesseis reatores desse tipo, resultaram nos seguintes gráficos e geraram duas curvas de eficiência relacionando o tempo de detenção hidráulica e a eficiência de remoção de DQO e DBO (Figuras 3.7 e 3.8). As características do esgoto dos testes eram as seguintes:

- Temperatura do esgoto: entre 20 e 27°C
- Concentração de DQO do esgoto bruto: entre 300 e 1400mg/L
- Concentração de DBO do esgoto bruto: entre 150 e 850mg/L

A conclusão é de que o tempo de detenção hidráulico afeta significativamente o processo de remoção de DBO e DQO. As taxas variaram de 40 até 90% de remoção.

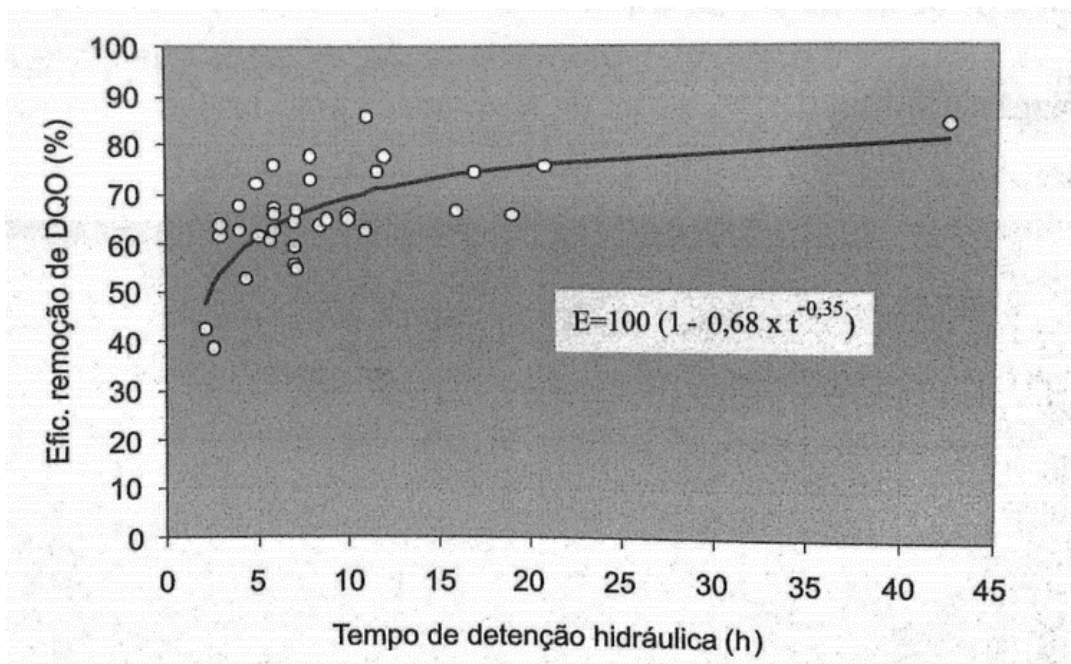


Figura 3-7 Eficiência de remoção de DQO esperada para reatores UASB, tratando esgotos domésticos. Fonte: Chernicharo (2007).

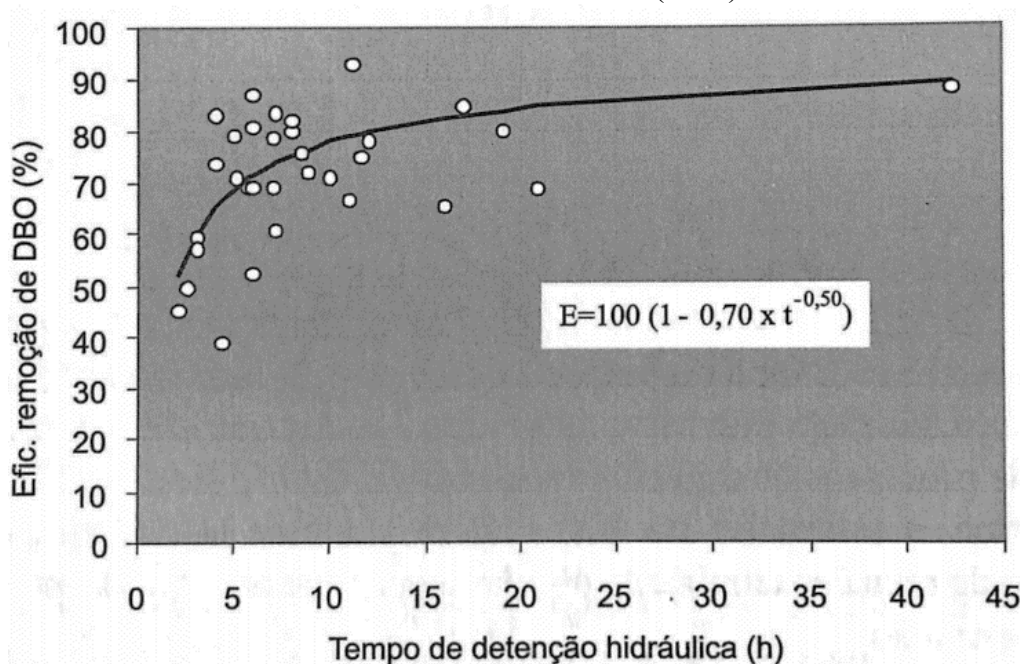


Figura 3-8 Eficiência de remoção de DBO esperada para reatores UASB, tratando esgotos domésticos. Fonte: Chernicharo (2007).

Após a realização do ajuste das curvas obtidas, foi possível identificar as Equações 3.15 e 3.16, que regem o fenômeno da remoção da DBO e DQO. Vale ressaltar que essas equações foram obtidas através de apenas dezesseis ensaios em estações em tratamento, para conseguir aferir de forma mais eficiente esse fenômeno seria necessário realizar um número maior de ensaios.

$$E_{DQO} = 100 \times (1 - 0,68 \times t^{-0,35}) \quad \text{Equação} \quad 3.15$$

Na qual:

E_{DQO} : eficiência do reator UASB, em termos de remoção de DQO (%);

t: tempo de detenção hidráulica (h);

0,68: constante empírica;

0,35: constante empírica.

$$E_{DBO} = 100 \times (1 - 0,70 \times t^{-0,50}) \quad \text{Equação} \quad 3.16$$

Na qual:

E_{DBO} : eficiência do reator UASB, em termos de remoção de DQO (%);

t: tempo de detenção hidráulica (h);

0,70: constante empírica;

0,50: constante empírica.

Estimativa da concentração de DQO e de DBO no efluente final

A partir da eficiência esperada para o sistema, pode-se estimar a concentração de DQO e de DBO no efluente final, como mostra a Equação 3.17, a seguir:

$$S = S_0 \times \frac{E \times S_0}{100} \quad \text{Equação} \quad 3.17$$

Na qual:

S: concentração de DQO ou de DBO efluente (mg/L);

S_0 : concentração de DQO ou DBO afluente (mg/L);

E: eficiência de remoção de DQO ou DBO (%).

Estimativa da concentração de SST no efluente final

Segundo Chernicharo (2007), a concentração de sólidos suspensos no efluente final dos reatores UASB depende de uma série de fatores, podendo-se destacar:

- A concentração e as características de sedimentabilidade do lodo presente no reator;
- A frequência de descarte do lodo e a altura do leito de lodo no reator;
- As velocidades nas aberturas para o decantador;
- A existência de retentores de espuma no compartimento de decantação;
- A eficiência do separador de gases, sólidos e líquidos;
- As taxas de aplicação e os tempos de detenção hidráulica nos compartimentos de digestão e decantação.

Similarmente ao realizado para a obtenção das curvas de remoção de DBO e DQO,

foi encontrada a curva de concentração de sólidos suspenso, porém, utilizando apenas cinco reatores como fonte de dados. Esse fato concede menos credibilidade aos resultados. A Figura 3.9 apresenta o gráfico traçado a partir de valores encontrados experimentalmente:

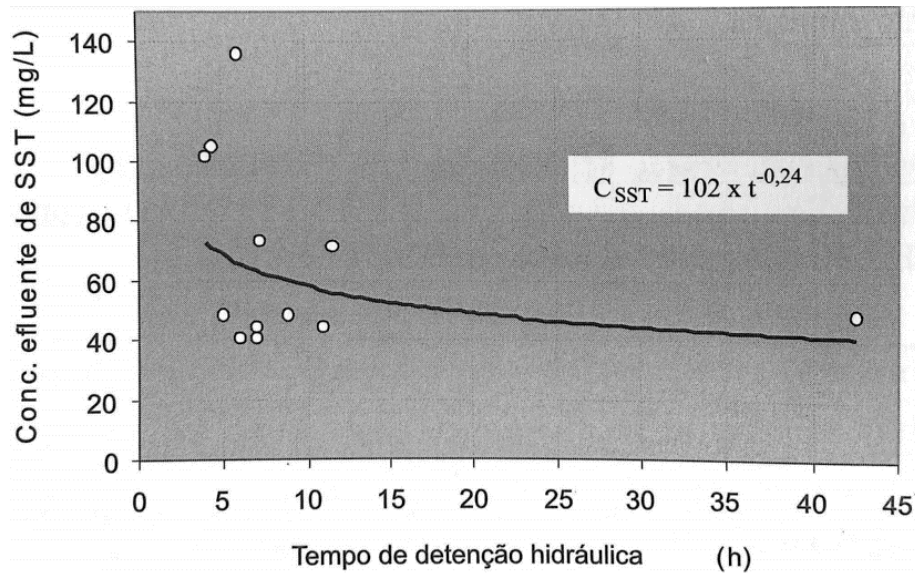


Figura 3-9 Concentração de SST esperadas no efluente de reatores UASB tratando esgotos domésticos. Fonte: Chernicharo (2007).

A partir da curva, foi possível encontrar a Equação 3.18 que rege o fenômeno:

$$C_{SST} = 102 \times t^{-0,24} \quad \text{Equação 3.18}$$

Na qual:

C_{SST} : concentração de sólidos suspensos totais no efluente (mg/L);

t: tempo de detenção hidráulica (h)

102: constante empírica;

0,24 constante empírica.

3.5.11 Produção, coleta e tratamento do biogás

a) Produção de biogás

A quantidade de biogás gerado nos reatores UASB é calculado a partir da carga de DQO presente no substrato. Conhecendo a relação da formação de metano a partir da carga orgânica e sabendo que 70 a 80% do biogás gerado é composto por metano, é possível encontrar a massa de biogás conforme os passos (Equações 3.19, 3.20, 3.21 e 3.22) indicados a seguir:

$$DQO_{CH_4} = Q \times (S_0 - S) - Y_{obs} \times Q \times S_0 \quad \text{Equação} \quad 3.19$$

Na qual:

DQO_{CH_4} : Carga de DQO convertida em metano (kgDQO_{CH₄}/d);

Q: Vazão de esgoto afluente (m³/d);

S_0 : Concentração de DQO afluente (kgDQO/m³);

S: Concentração de DQO efluente (kgDQO/m³);

Y_{obs} : Coeficiente de produção de sólidos no sistema, em termos de DQO (0,11 a 0,23 kgDQO_{lodo}/kgDQO_{apl}).

$$Q_{CH_4} = DQO_{CH_4}/f(T) \quad \text{Equação} \quad 3.20$$

Na qual:

Q_{CH_4} : Produção volumétrica de metano (m³/d);

f(T): Fator de correção para temperatura operacional do reator (kgDQO/m³).

$$f(T) = \frac{P \times K_{DQO}}{R \times (273 + T)} \quad \text{Equação} \quad 3.21$$

Na qual:

P: Pressão atmosférica (1atm);

K_{DQO} : DQO correspondente a um mol de CH₄ (64gDQO/mol);

R: Constante dos gases (0,08206 atm.L/mol.K);

T: Temperatura operacional do reator (°C)

$$Q_{biogás} = Q_{CH_4}/C_{CH_4} \quad \text{Equação} \quad 3.22$$

Na qual:

$Q_{biogás}$: Produção volumétrica de biogás (m³/d);

Q_{CH_4} : Produção volumétrica de metano (m³/d);

C_{CH_4} : Concentração de metano no biogás.

b) Coleta de biogás

Os gases resultantes da digestão são coletados na parte interna do separador trifásico, podendo ser destinados à queima ou para reservatórios de armazenamento. Segundo Chernicharo (2007), no percurso, desde os reatores até atingir o reservatório (ou queimador), os gases devem passar, sequencialmente, pelos seguintes dispositivos mínimos:

- Tubulação de coleta;
- Compartimento hermético, com selo hídrico e purga de biogás;
- Medidor de biogás (opcional);
- Reservatório de biogás (tanque pulmão).

Em casos de reatores de grande porte, que produzem quantidades elevadas de biogás é necessário incluir dispositivos adicionais que aumentem a segurança do sistema que podem ser encontrados na bibliografia.

c) Tratamento do biogás

Os gases presentes no tratamento de esgoto podem ser solúveis e estar no interior do substrato ou podem escapar da zona líquida para o separador trifásico. Em cada um dos casos irá ocorrer um tipo de tratamento. Para o gás no interior do fluido é recomendada a instalação de um exaustor centrifugador e construído de material não corrosivo. Para o segundo caso é recomendado a instalação de um biofiltro na forma de valas escavadas no chão. Especificações mais detalhadas podem ser encontradas na bibliografia específica.

3.5.12 Produção, amostragem e retirada de lodo

a) Produção de lodo

Segundo Chernicharo (2007), a taxa de acumulação de sólidos depende essencialmente do tipo de efluente, sendo maior quando o esgoto afluente apresenta elevada concentração de sólidos suspensos, especialmente sólidos não biodegradáveis. O descarte do lodo excedente deve ocorrer periodicamente para não prejudicar o processo no interior do reator.

A estimativa da produção de lodo em reatores UASB pode ser feita através da Equação 3.23:

$$P_{lodo} = Y \times CO_{DQO} \quad \text{Equação} \quad 3.23$$

Na qual:

P_{lodo} : produção de sólidos no sistema (kgSST/d);

Y : coeficiente de sólidos no sistema (kgSST/kgDQO_{aplicada});

CO_{DQO} : carga de DQO aplicada ao sistema (kgDQO/d).

Com a Equação 3.24, é possível calcular a produção volumétrica de lodo:

$$V_{lodo} = \frac{P_{lodo}}{\gamma \times C_{lodo}} \quad \text{Equação} \quad 3.24$$

Na qual:

V_{lodo} : produção volumétrica de lodo (m³/d);

γ : massa específica de lodo (usualmente da ordem de 1020 a 1040 kg/m³);

C_{lodo} : concentração do lodo (%).

b) Amostragem

A realização de monitoramento do lodo gerado e suas características fornecem informações valiosas sobre o correto funcionamento do reator UASB, se configurando como uma importante tarefa. A fim de facilitar o monitoramento algumas características construtivas devem ser seguidas na construção do amostrador, segundo Chernicharo (2007).

- Para reatores de paredes verticais, construídos acima do nível do terreno, os amostradores de lodo deverão ser previstos ao longo da parede vertical, a cada 50 cm, a partir do fundo, e atingindo a parte inferior do defletor de gases;
- Para reatores de formato tronco-cônico invertido, ou de paredes verticais, mas enterrados, os amostradores de lodo deverão ser previstos no topo da laje de cobertura do reator, também possibilitando a amostragem de lodo a cada 50 cm, a partir do fundo e atingindo a parte inferior do defletor de gases;
- Os tubos e registros de amostragem poderão ser em PVC ou em ferro fundido, com diâmetro de 50mm.

c) Sistema de descarte de lodo

Para realizar a extração periódica de lodo excedente e, eventualmente, materiais não biodegradáveis, existem recomendações que visam o funcionamento correto do sistema de descarte:

- Previsão de tubulação de descarte de lodo localizadas, preferencialmente, em dois níveis ao longo da altura do reator;
- As tubulações de descarte de lodo deverão ter diâmetro mínimo de 150mm;

- Cada tubulação inferior de retirada de lodo deverá ser equipada com válvula de acionamento individualizada, de forma a se garantir a efetiva remoção dos sólidos de um determinado ponto do reator.

d) Desidratação de lodo

Usualmente, vem sendo adotado, para reatores UASB tratando esgotos domésticos, a técnica de leito de secagem. Esse projeto é favorecido pelas condições climáticas do país. Algumas características como a área necessária para a quantidade de lodo que sofrerá desidratação, o ciclo da operação, entre outros fatores devem ser observados. Segundo Chernicharo, o ciclo de operação do leito de secagem deve ser estipulado para o período de 15 a 20 dias. O autor complementa que as taxas de aplicação de sólidos nos leitos de secagem são, usualmente, da ordem de 10 a 15 kgST/m².

3.6 Lagoas de Alta Taxa

Como foi citado anteriormente, os reatores UASB possuem muitas vantagens, porém não são suficientes para tratar os esgotos, sendo necessário incluir outra etapa de tratamento para adequar as características do efluente final aos padrões de lançamento de efluentes em corpos receptores. A Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. O corpo receptor da ETE Paranoá é classificado como classe 2 e apresenta as condições e padrões iguais aos das águas classificadas como classe 1, com algumas exceções.

I - Condições de qualidade de água (CLASSE I):

- a) não verificação de efeito tóxico crônico a organismos, de acordo com os critérios estabelecidos pelo órgão ambiental competente, ou, na sua ausência, por instituições nacionais ou internacionais renomadas, comprovado pela realização de ensaio ecotoxicológico padronizado ou outro método cientificamente reconhecido.
- b) materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes;
- c) óleos e graxas: virtualmente ausentes;
- d) substâncias que comuniquem gosto ou odor: virtualmente ausentes;
- e) corantes provenientes de fontes antrópicas: virtualmente ausentes;
- f) resíduos sólidos objetáveis: virtualmente ausentes;

g) coliformes termotolerantes: para o uso de recreação de contato primário deverão ser obedecidos os padrões de qualidade de balneabilidade, previstos na Resolução CONAMA nº 274, de 2000. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 200 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais, de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. A *E. Coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente;

h) DBO 5 dias a 20°C até 3 mg/L O₂;

i) OD, em qualquer amostra, não inferior a 6 mg/L O₂;

j) turbidez até 40 unidades nefelométrica de turbidez (UNT);

l) cor verdadeira: nível de cor natural do corpo de água em mg Pt/L; e

m) pH: 6,0 a 9,0.

As exceções são:

I - Não será permitida a presença de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais;

II - Coliformes termotolerantes: para uso de recreação de contato primário deverá ser obedecida a Resolução CONAMA nº 274, de 2000. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. A *E. coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente;

III - cor verdadeira: até 75 mg Pt/L;

IV - Turbidez: até 100 UNT;

V - DBO 5 dias a 20°C até 5 mg/L O₂;

VI - OD, em qualquer amostra, não inferior a 5 mg/L O₂;

VII - clorofila *a*: até 30 µg/L;

VIII - densidade de cianobactérias: até 50000 cel/mL ou 5 mm³/L; e

IX - Fósforo total:

a) até 0,030 mg/L, em ambientes lênticos; e

b) até 0,050 mg/L, em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lêntico.

Uma alternativa atrativa para enquadrar o efluente dos reatores UASB aos padrões de lançamento do corpo receptor é o sistema de lagoas de alta taxa.

Os sistemas de lagoas de estabilização constituem-se na forma mais simples para o tratamento de esgotos. Há diversas variantes do sistema de lagoas de estabilização, com diferentes níveis de simplicidade operacional e requisitos de área (Von Sperling, 1996).

Uma das tecnologias mais usuais são as lagoas facultativas que são a variante mais simples dos sistemas de lagoas de estabilização. Essa tecnologia consiste, basicamente, em reter o esgoto por tempo suficiente para que os processos biológicos ocorram naturalmente. Os principais fatores que influenciam, e consequentemente, devem ser observados no funcionamento das lagoas são: a temperatura e condições climáticas locais.

Segundo Fallowfield *et al.* (1996, apud Nascimento, 2001), a lagoa de alta taxa de degradação é uma adaptação das lagoas de estabilização que incorpora um sistema de mistura simples e defletores dentro da lagoa que permite manter as condições hidrodinâmicas o mais próximo possível do ideal, garantindo então a eficiência e diminuição de sua área, otimizando-se a produção de oxigênio pelas algas, por meio da fotossíntese.

Segundo Von Sperling (1996), os principais parâmetros de projeto das lagoas facultativas são:

- Taxa de aplicação superficial;
- Relações geométricas Largura/Comprimento;
- Profundidade;
- Tempo de detenção.

O critério da *taxa de aplicação superficial* baseia-se na necessidade de se ter uma determinada área de exposição à luz solar na lagoa, para que o processo de fotossíntese ocorra. O objetivo de se garantir a fotossíntese, indiretamente, o crescimento de algas, é o de se ter uma produção de oxigênio suficiente para suprir a demanda de oxigênio. Assim, o critério da taxa de aplicação superficial é baseado na necessidade de oxigênio para a estabilização da matéria orgânica. A taxa de aplicação superficial relaciona-se, portanto, à atividade das **algas** (Von Sperling, 1996, grifo do autor).

O critério do *tempo de detenção* diz respeito ao tempo necessário para que os microrganismos procedam à estabilização da matéria orgânica no reator (lagoa). O tempo de detenção relaciona-se, portanto, à atividade das **bactérias** (Von Sperling, 1996, grifo do autor).

Segundo Azov e Shelef.(1982), Para o correto funcionamento das lagoas de alta taxa, o principal objetivo a ser alcançado é a maximização do processo de produção de algas. Para se alcançar esse objetivo a principal barreira é a econômica, é necessário que haja elevada disponibilidade de área para a construção das lagoas.

Como foi apontado pela maioria dos pesquisadores, a produção de biomassa de algas nas lagoas de alta taxa é determinada quase exclusivamente pelas variáveis externas não controladas - intensidade da luz e temperatura (Azov; Shelef, 1982). Os autores afirmam que os principais aspectos construtivos para condicionar a intensidade de incidência solar e a temperatura do efluente são:

1. A profundidade da lagoa;
2. A área superficial da lagoa;
3. Tempo de detenção.

A profundidade e a área superficial da lagoa são fatores determinantes e devem ser projetados para aumentar a incidência solar no fluido e aumentar a reprodução das algas e o tempo de detenção deve ser suficiente para proporcionar o crescimento das algas e o consumo da matéria orgânica pelos microrganismos decompositores aeróbios.

No entanto, Goldman *et al.*(1972), afirmam que é possível que o carbono possa limitar a taxa de crescimento e possivelmente controlar massa de algas em sistemas onde outros nutrientes encontram-se, consideravelmente, em excesso ou em situações especiais, como lagoas de baixa alcalinidade ou lagoas de águas extremamente duras. Contudo, foi demonstrado por Azov e Shelef. (1982) que quando o carbono orgânico de águas residuais excede 300 mg. l⁻¹, em forma de DBO, é improvável que ocorra limitação de carbono.

No estudo realizado por Azov e Shelef. (1982) em Haifa, Israel, foram testados três modelos de operação das lagoas de alta taxa. Buscando otimizar o valor de reprodução da biomassa de algas, os pesquisadores testaram os resultados da mudança dos 3 parâmetros mencionados acima. As lagoas de alta taxa apresentaram taxas de remoção de DBO variando de aproximadamente 80% no inverno e 90% no verão. Ao final do estudo, foi proposto o modelo B, apresentado na Figura 3.10, para países tropicais. As características do esgoto tratado e as características climáticas da região do estudo estão representadas nas Figuras 3.11 e 3.12 respectivamente.

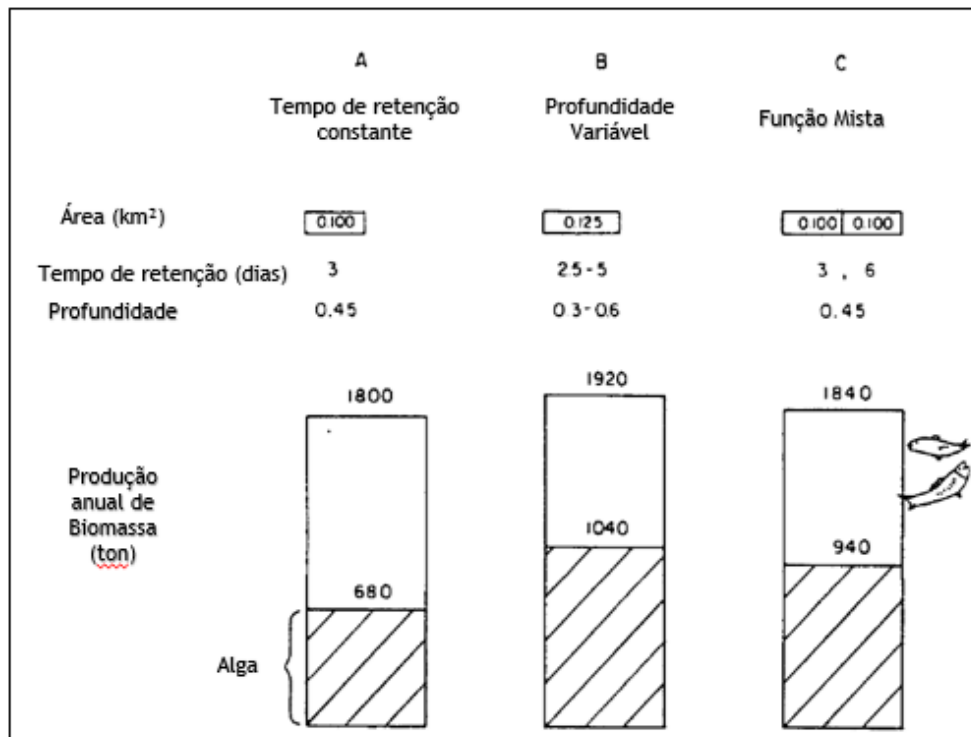


Figura 3-10 Dimensões estimadas e produtividade de algas para as 3 estratégias, baseado em uma comunidade de 50.000 pessoas. Fonte: Azov e Shelef, (1982) com modificações.

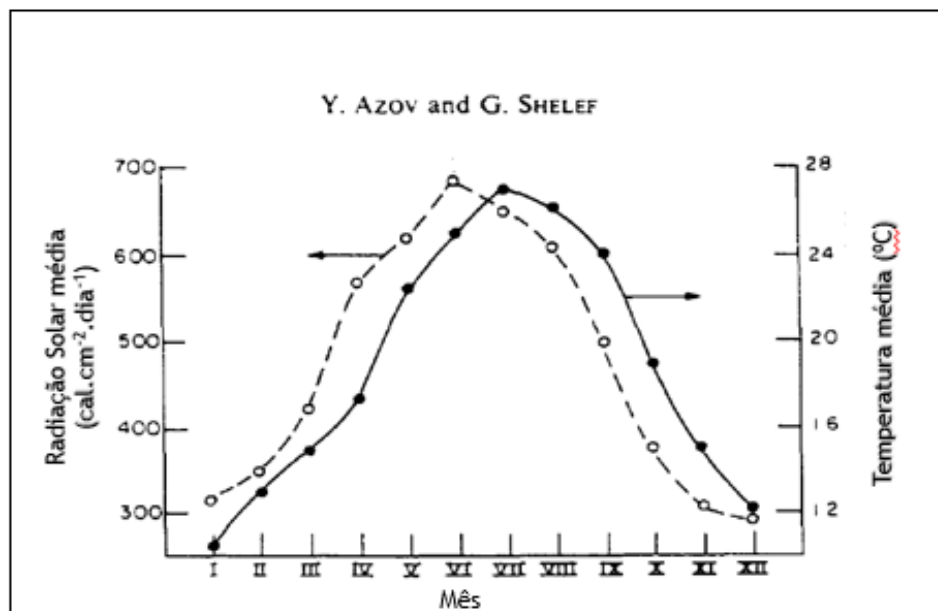


Figura 3-11 Variações sazonais da radiação solar e temperatura em Haifa (Lat. 32°N)
Fonte: Azov e Shelef, (1982) com modificações.

	(A) Technion City	(B) Haifa Bay
TSS	528	288
COD _t *	978	818
BOD _t	412	323
N _{kjt}	93	82
N _{kjd}	67	64
NH ₃	57	55
PO ₄ ⁻³ _t	53	44
PO ₄ ⁻³ _d	34	34
Cl ⁻	329	381
SO ₄ ²⁻	86	110
pH	7.8	7.5
Alkalinity (mN)	11.5	11.9
Coliform (per 100 ml)	~ 10 ⁸	~ 10 ⁸

*t - total; d -dissolvido; Kj - Kjeldahl.

Figura 3-12 Composição do esgoto bruto (mg l⁻¹, caso não citado). Fonte: Azov e Shelef, (1982) com modificações.

O modelo sugerido opera com vazão de 15.000 m³/d atendendo 50000 habitantes com vazão unitária por habitante de 300 l /hab. dia. Os autores ressaltam a importância de se observar as características climáticas do local e concentrações do esgoto tratado no estudo, ao optar por seguir um dos modelos de operação indicados.

4 METODOLOGIA

A região administrativa do Paranoá se encontra próxima à barragem do lago Paranoá e tem seu limite próximo ao fim da fronteira do DF. A pesquisa realizada em 2015 pela Companhia de Planejamento do Distrito Federal (Codepan) apontou a estimativa populacional de 48.020 habitantes na cidade. No início da década de 90 a cidade Itapoã começou a ser construída atraindo mais moradores para a região. Hoje a população da cidade do Itapoã ultrapassa a faixa de 60.000 habitantes. (Codeplan, 2015). Segundo Neder e Harada (1997), antes da construção da estação de tratamento, os esgotos da região central do Paranoá já estavam sendo coletados desde 1993, e lançados no Rio Paranoá, a jusante da barragem do lago de mesmo nome. Entretanto, o rio não apresenta boa capacidade de diluição de efluente, por sua intermitência.

A necessidade de um sistema de tratamento para toda a população do Paranoá e as limitações de capacidade de recepção dos esgotos do lago Paranoá foram os fatores que nortearam o projeto de uma estação de tratamento de esgotos (Soares e Gomes, 1999).

A Estação de Tratamento de Esgoto do Paranoá (ETE Paranoá) localizada na DF-001, km 15 é composta por tratamento preliminar contendo a etapa preliminar de gradeamento, visando a remoção de sólidos grosseiros, um medidor de vazão do tipo calha Parhsall e finalmente um desarenador. A primeira etapa é composta por três Reatores Anaeróbios de fluxo ascendente (UASB). A segunda etapa é composta por nove lagoas aeróbias de alta taxa. Sua vazão de projeto é de 112L/s. A Figura 4.1 apresenta o fluxograma da estação de tratamento de esgoto Paranoá. Nas Tabelas 4.1 e 4.2 são apresentados os parâmetros de projeto da ETE Paranoá e dos reatores UASB presentes na estação:

Tabela 4.1 Parâmetros de projeto da ETE-Paranoá (Soares e Gomes, 1999).

Parâmetro	Unid.	Qnt.
População contribuinte	Hab	60000,00
Per-capita DBO	g/hab.dia	8752,00
Per-capita esgoto	l/hab.dia	120,00
Vazão média	m ³ /d	54
Carga DBO	Kg DBO/dia	3240

Tabela 4.2 Parâmetros de projeto dos Reatores Anaeróbios (UASB) da ETE Paranoá, (adaptado de Soares e Gomes, 1999).

Parâmetro	Unid.	Qnt.
Número de reatores	Unid.	3,00
Volume do reator	m ³	1121,00
Tempo de Detenção	Hora	9,22
Volume 1ª Câmara	m ³	448,00
Volume 2ª Câmara	m ³	674,00
Taxa superficial da 1ª Câmara	m/hora	1,06 - 1.30
Taxa superficial da 2ª Câmara	m/hora	0,75 - 0,87
Volume de lodo estimado	m ³	557,00
Carga aplicada	gDBO/gSSV.d	0,19
Descarte mensal de lodo	m ³	418,00

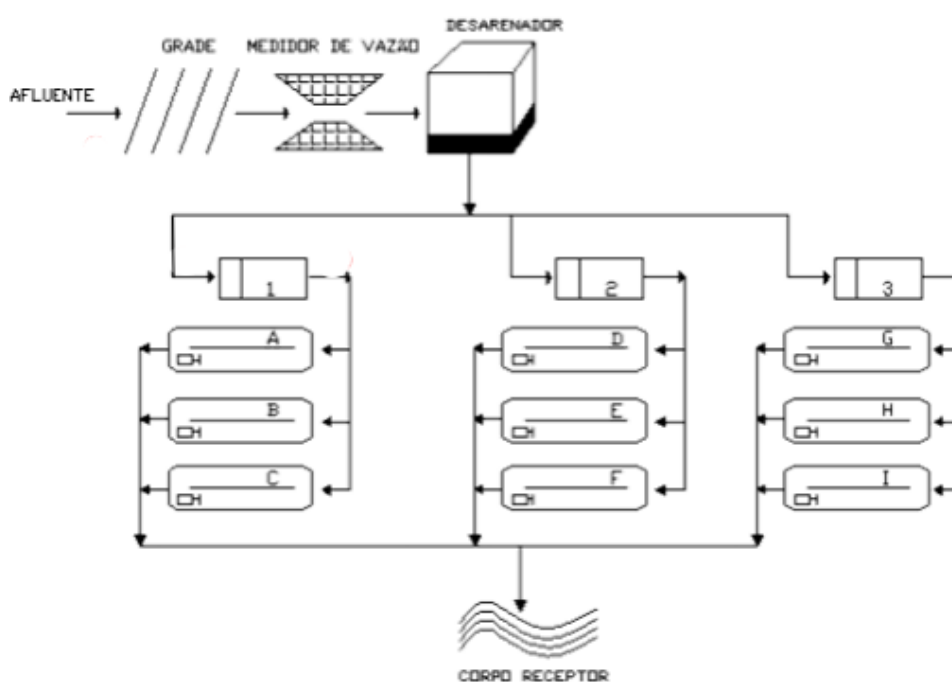


Figura 4-1: Fluxograma da ETE Paranoá. Fonte: Silva (2007) com adaptações

4.1 ETAPA 1 - DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO PARA A ETE PARANOÁ

A primeira etapa do projeto final, consistiu em delimitar geograficamente a bacia de contribuição da ETE Paranoá, referente às regiões administrativas do Paranoá, Itapoã e Sobradinho II, que recentemente se desvinculou de sobradinho.

Para auxiliar na elaboração dessa etapa, foi utilizado o software ArcGis, a fim de apontar a região que é atendida pela estação de tratamento de esgoto Paranoá. A obtenção da bacia de contribuição informou a quantidade de pessoas atendidas. Além disso, os dados populacionais serviram para confirmar a necessidade da ampliação da estação de tratamento, que foi projetada para uma população menor que a população atendida atualmente.

As informações sobre a população atendida foram extraídas do relatório de funcionamento das ETES de Brasília. Nesse relatório foi informado que além da RA do Paranoá e Itapoã, a ETE, atualmente, atende também, de forma inexpressiva, a região de Sobradinho II.

Foram gerados dois mapas contendo as informações da bacia.

4.2 ETAPA 2 - DIAGNÓSTICO DO SISTEMA BIOLÓGICO DE TRATAMENTO

A segunda etapa do projeto buscou entender a atual situação da estação de tratamento de esgotos, nela ocorreram análises dos dados secundários de monitoramento da ETE Paranoá. Foram observadas as cargas volumétricas e orgânicas da estação para o diagnóstico do atual funcionamento da estação.

Foi avaliado quão defasado o sistema de tratamento se encontra para os parâmetros de carga orgânica e volumétrica e quais ações deveriam ser tomadas para adequar o sistema às novas solicitações. Após conhecer os dados de funcionamento foi realizada a proposta para adequar o efluente às normas de lançamento vigentes.

Essa análise contou com dados atuais da estação do Paranoá que foram solicitados à Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), que é a responsável pelo gerenciamento da estação. Os dados necessários para o diagnóstico das tecnologias presentes estão apresentados nas Tabelas 4.1 e 4.2, além de dados do efluente final da ETE Paranoá.

4.3 ETAPA 3 - PROPOSTA DE AMPLIAÇÃO

Apresentou-se proposta que irá atender a população para um horizonte de projeto que contempla o surgimento de novas áreas habitacionais nas regiões que são atendidas pela estação de tratamento Paranoá. A análise do aumento de contribuição de esgoto foi norteadas pelos dados do PDAE -DF.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO PARA A ETE PARANOÁ

Conforme os dados apresentados pelo Plano Diretor de Água e Esgoto do Distrito Federal 2010, realizado nos anos de 2013 e 2014 a área de atendimento da ETE Paranoá é maior que a área estimada no início do presente trabalho. Inicialmente, acreditava-se que as regiões atendidas pela ETE eram apenas o Paranoá e o Itapoã. O documento aponta que além dessas duas regiões administrativas, também estão sendo tratados os efluentes gerados pela região de Sobradinho II.

É importante ressaltar que o projeto da estação de tratamento previa o atendimento de 60.000 habitantes e pelas projeções apontadas, tanto pelo cenário mínimo quanto no cenário máximo, a população atendida no ano de 2015 (ANEXO I) já era maior que a população máxima de projeto. A Tabela 5.1 apresenta a projeção da população atendida pela ETE Paranoá até o ano de 2040.

Segundo a Agência Brasília, no dia 03 de julho de 2014, os primeiros beneficiários do programa de moradia responsável pelo condomínio Paranoá Parque receberam as chaves de 464 apartamentos. A Agência aponta ainda que no ano de 2016, houve a última entrega de apartamento no condomínio, totalizando 4.384 unidades habitacionais. Finalmente, a reportagem afirma os apartamentos no Paranoá têm 46 metros quadrados e são compostos por dois quartos, sala, cozinha, banheiro e área de serviço e que o condomínio já tem infraestrutura de água, energia elétrica, pavimentação, sistema de esgoto e drenagem.

Em junho de 2018 foi apresentada a pesquisa de satisfação dos beneficiários do programa minha casa minha vida Paranoá Parque que contém informações sobre o perfil dos moradores do condomínio. A pesquisa apontou que, na amostra de 427 residências, abrangendo 1.486 moradores, o perfil das famílias é dividido conforme a Figura 5.1.

Não há referência ao novo condomínio no Plano Diretor de Água e Esgoto do Distrito Federal, realizado em 2010. Conclui-se então que é possível que haja aumento do atendimento populacional maior que o previsto na projeção realizada pelo PDAE.

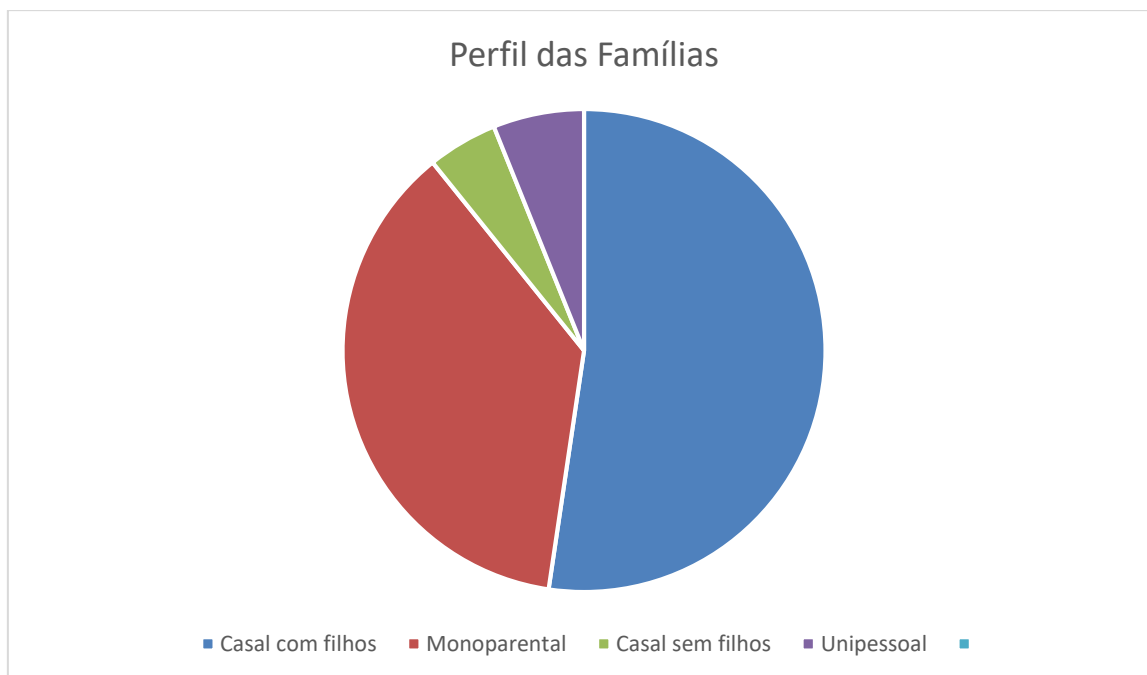


Figura 5-1 Perfil das Famílias habitantes no Condomínio Paranoá Parque (CODEPLAN).

Tabela 5.1 Projeções de população dos SAs atendida nas bacias de esgotamento sanitário do DF.

Setor de Atendimento		População atendida por rede de esgotamento sanitário (hab)											
		Cenário Mínimo - PDAE/2010						Cenário Máximo - Codeplan					
		2015	2020	2025	2030	2035	2040	2015	2020	2025	2030	2035	2040
VII	Paranoá	34.576	34.685	34.763	34.841	34.919	34.998	35.601	34.715	35.222	36.539	37.417	38.294
XXVI	Sobradinho II	10	53	59	65	71	77	11	53	62	69	76	85
XXVIII	Itapoã	45.448	45.449	45.449	45.449	45.450	45.450	46.791	45.492	46.025	47.665	48.698	49.726
	Total	80.034	80.187	80.271	80.355	80.440	80.525	82.403	80.260	81.309	84.273	86.191	88.105

Fonte: PDAE/DF 2010 adaptado

Foram elaborados dois mapas das regiões administrativas do Paranoá e Itapoã a fim de analisar a evolução da urbanização nas duas áreas. Os mapas contêm imagens dos anos de 2002 e 2019. A comparação entre as Figuras 5.2 e 5.3 aponta que não houve grande crescimento da região administrativa do Paranoá, mas houve adensamento da região. Além disso, é possível notar o surgimento do condomínio Paranoá parque, programa popular de moradia (minha casa minha vida), localizado a oeste da região administrativa do Paranoá. Esse condomínio possui área aproximada de 744.962,28 m² e é composto por edifícios com 3 pavimentos. Finalmente é possível observar a expansão da região administrativa do Itapoã, que foi extremamente expressiva.

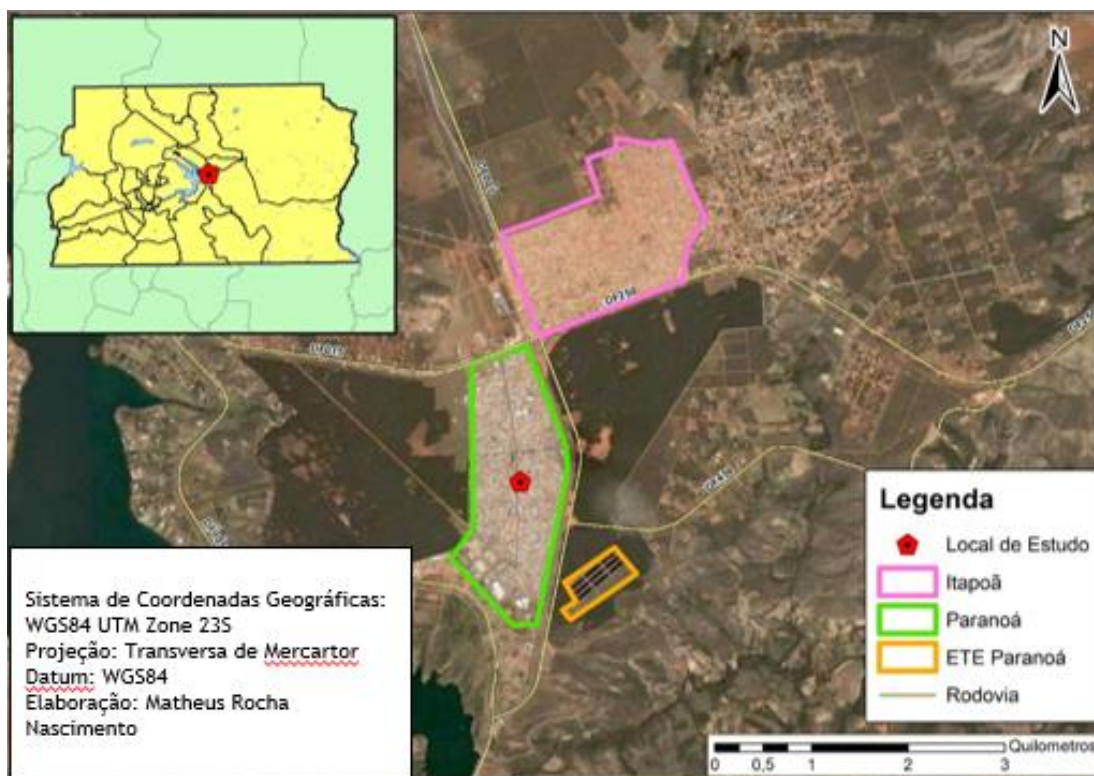


Figura 5-2 Mapa das Regiões administrativas do Paranoá e Itapoã do ano de 2002.

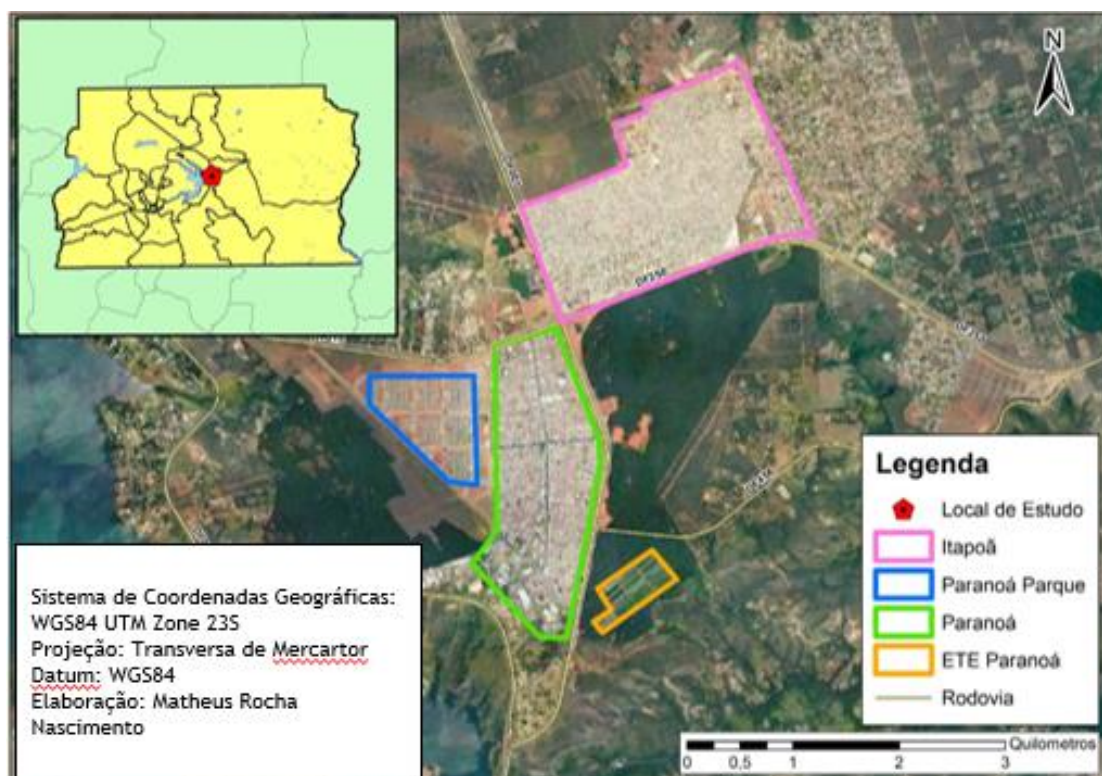


Figura 5-3 Mapa das Regiões administrativas do Paranoá e Itapoã do ano de 2019.

5.2 DIAGNÓSTICO DO SISTEMA BIOLÓGICO DE TRATAMENTO

Para a realização do diagnóstico do sistema biológico de tratamento da ETE Paranoá foram utilizados dados operacionais de vazão e carga do esgoto afluyente e do esgoto efluente. Os valores analisados foram fornecidos pela própria CAESB, contendo dados de funcionamento dos anos de 2014 até 2018.

Os dados analisados possuíam, tanto valores com escala temporal diárias quanto horárias e as conclusões foram baseadas na análise dos dois parâmetros.

Escala temporal mensal

Inicialmente foi analisado o relatório de funcionamento das ETE's de Brasília, emitido no ano de 2010 pela CAESB. No relatório é afirmado que no ano de 2013 a ETE Paranoá já vinha sendo operada com mais de 70% da sua capacidade de vazão de projeto e 128,8% de sua capacidade populacional. O relatório afirma também que, tratando-se de concentração do afluyente, a ETE Paranoá é que ocupa a terceira posição, ficando atrás apenas das estações Melchior e ETE Sul. Este documento aponta também projeções populacionais atendidas pela ETE Paranoá, bem como a vazão afluyente até o ano de 2040, divididos em dois cenários: Mínimo e Máximo.

Finalmente o relatório apresentou dados de vazão e apontou que até o ano de 2040 a vazão afluyente da ETE será de 99 L/s no cenário mínimo e de 109 L/s no cenário máximo. Ambos os valores estão dentro da vazão de projeto, porém esses são valores médios, ou seja, existirão momentos em que a vazão poderá superar os valores apontados.

A partir da análise do gráfico da Figura 5.5 pode-se concluir que a partir do ano de 2014 as vazões médias afluyentes a ETE Paranoá encontravam-se próximas às vazões máximas suportadas

Quando o volume de tratamento chega ao limite suportado pelos reatores da ETE Paranoá, o valor excedente é desviado para as lagoas de alta taxa, que compõem fase posterior de tratamento. Porém, a carga do afluyente que chega às lagoas é maior que o a carga suportada pelas mesmas, prejudicando a eficiência de remoção do sistema e ocasionando em carregamento das algas existentes na lagoa. Esse fato faz com que a concentração de matéria orgânica do efluente lançado no corpo receptor seja elevada.

A Figura 5.4 ilustra os níveis de remoção de DBO, DQO e SS na ETE Paranoá medida nos anos 2006 até 2017. É possível notar que a ETE está funcionando com eficiências de remoção de DBO, variando de 70% até, aproximadamente, 95% nos últimos anos de medições. As eficiências de remoção de DQO estão variando na faixa de 65% até 70%. Finalmente as taxas de remoção de sólidos suspensos que possuíram um rendimento inferior nos últimos anos, variando de 50% até, aproximadamente, 65%. Os valores apresentados na Figura 5.5 correspondem às médias mensais de vazão.

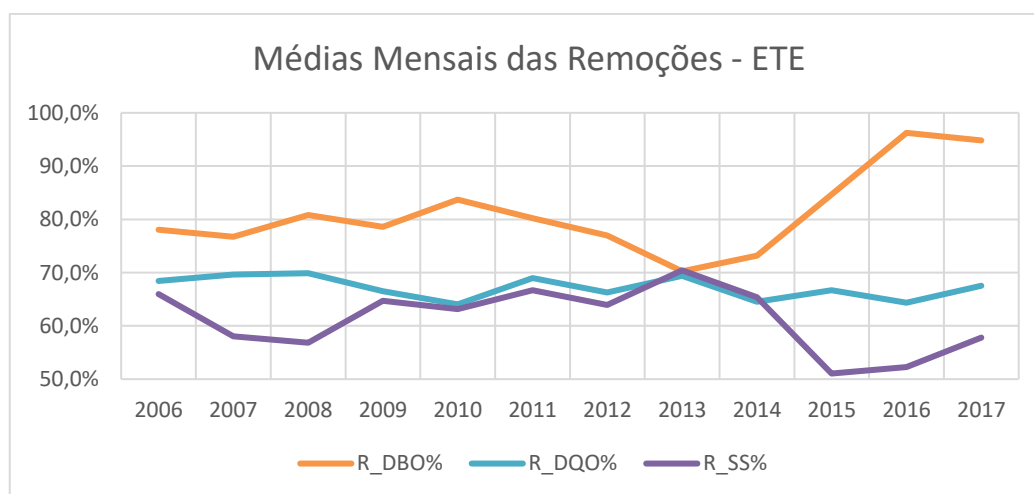


Figura 5-4 – Médias mensais de remoção de DBO, DQO e SS da ETE Paranoá.

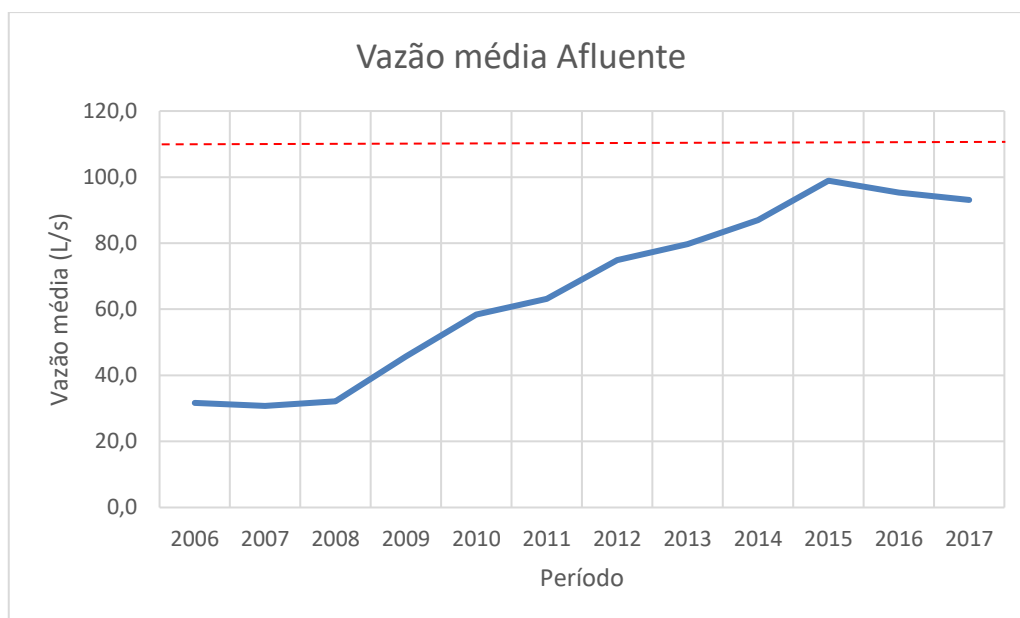


Figura 5-5 Vazão média afluente medida dos anos de 2006 a 2017.

Escala temporal diária

Os dados diários, também fornecidos pela CAESB, permitiram a avaliação dos hidrogramas diários de vazão, com valores medidos de hora em hora, com início no dia 22/04/2018 e término no dia 16/06/2018. Como já mencionado anteriormente, a vazão de projeto é 112 L/s e em todos os dias foram observados momentos em que a vazão ultrapassou esse valor. A Tabela 5.2 aponta o número de ocorrências de sobrecarga, quando os valores de vazão afluente ultrapassaram o valor de 112 L/s.

Tabela 5.2 Comparativo do número de ocorrências superiores e inferiores ao valor de vazão de projeto.

Medições CAESB		
Nº de ocorrências de vazão superior a 112 L/s	563	40,24%
Nº de ocorrências de vazão inferior a 112 L/s	836	59,76%
Nº total de medições	1399	100%

O maior valor encontrado foi de 243 L/s e o menor valor foi de 17 L/s. Além disso todos os dias apresentaram momentos em que a vazão superou o valor de 112 L/s sendo necessário realizar o procedimento *by-pass*. Existem momentos durante o dia que os picos de vazão ultrapassam a média, alcançando valores de 243 L/s, mais que o dobro suportado pela ETE.

As figuras 5.6, 5.7 e 5.8 apresentam hidrogramas diários de vazão de dias escolhidos aleatoriamente. É possível analisar que houve sobrecarga na ETE Paranoá nos 3 dias analisados, no dia 26 de abril a vazão ultrapassou o dobro do suportado pela ETE Paranoá.

Carvalho Júnior (2018) afirma que as análises realizadas em seu estudo mostraram que as lagoas não têm tido resultados satisfatórios na remoção de matéria orgânica, principalmente as LAT's 4 e 6, integrantes do sistema que recebe o *by-pass*. Carvalho Júnior (2018) conclui que a sobrecarga orgânica que chega à estação tem gerado remoção insuficiente de matéria orgânica em todas as lagoas.

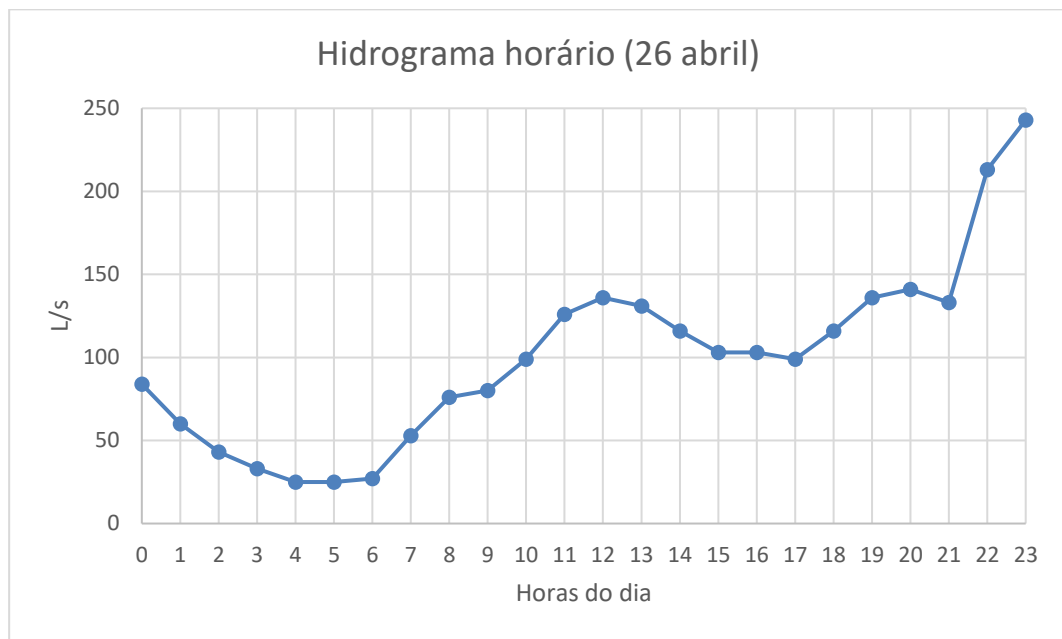


Figura 5-6 Hidrograma de vazões horárias no dia 26 de abril de 2018.

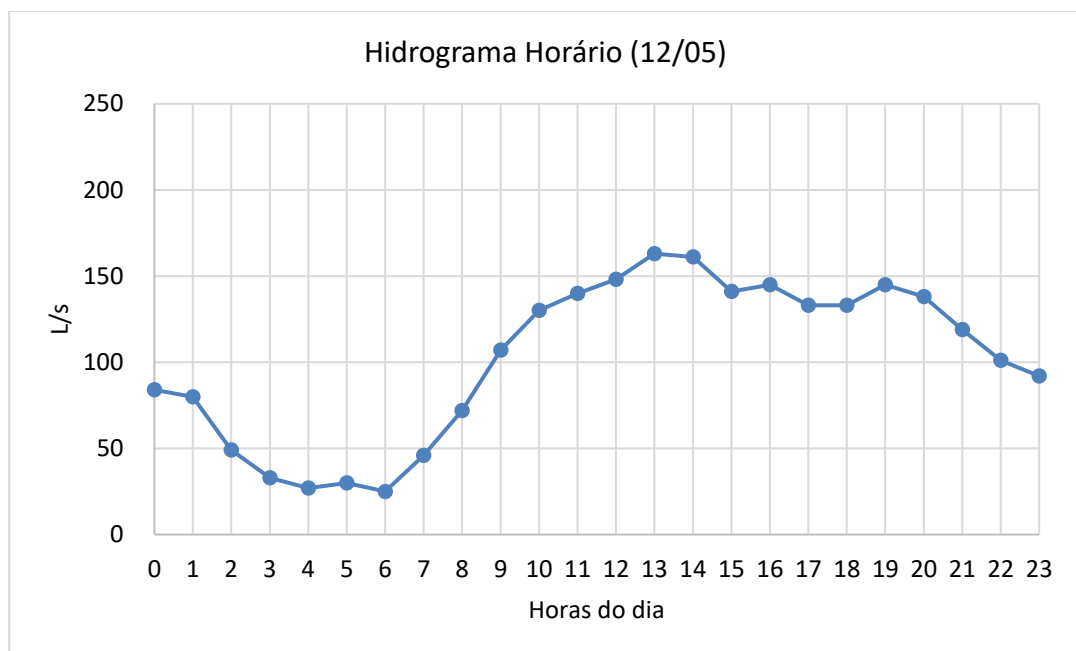


Figura 5-7 Hidrograma de vazões horárias no dia 12 de maio de 2018.

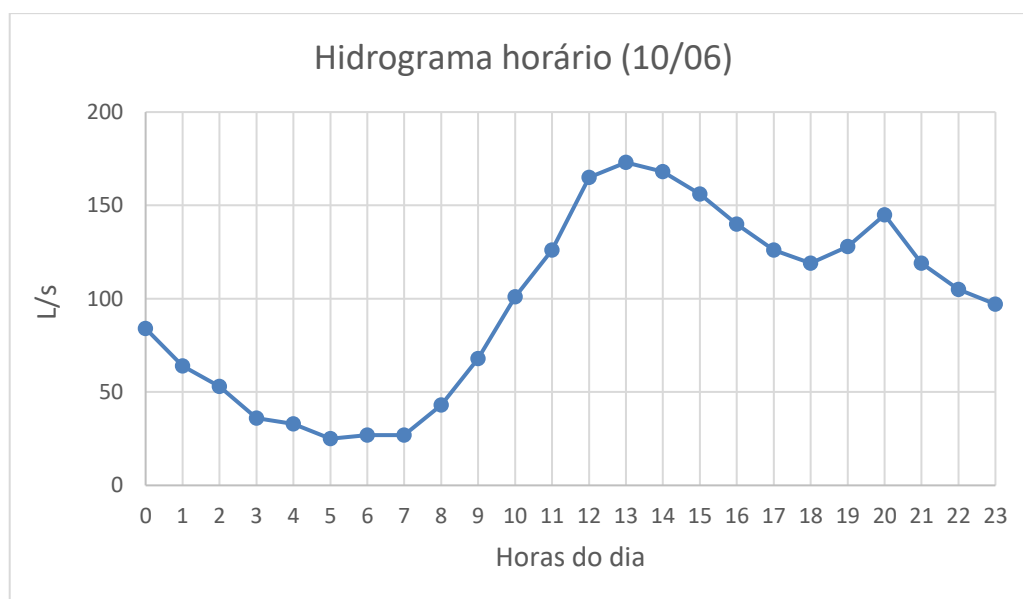


Figura 5-8 Hidrograma de vazões horárias no dia 10 de junho de 2018.

Dados operacionais atuais

A ETE Paranoá opera com 3 reatores UASB seguida de 9 lagoas de alta taxa, capacitando o tratamento de 112 L/s na estação. A ampliação visa aumentar a capacidade da ETE e tornar menos frequente as ocorrências de picos de vazões que ultrapassem a vazão máxima suportada.

Alguns dos principais parâmetros de projeto da ETE Paranoá estão representados na Tabela 5.3

Tabela 5.3 Parâmetros de projeto da ETE Paranoá. (Adaptado de Soares e Gomes, 1999)

Parâmetro	Unidade	Parâmetro
População Contribuinte	Habitantes	60000,00
Vazão média	m ³ /dia	8752,00
Esgoto per capita	L/hab	120,00
DBO per capita	g/hab.dia	54,00
Carga DBO	kgDBO/dia	3240,00
Número de reatores	Unid.	3,00
Volume do reator	m ³	1121,00
Tempo de detenção	hora	9,22
Volume 1ª Câmara	m ³	448,00
Volume 2ª Câmara	m ³	674,00
Taxa superficial 1ª Câmara	m/hora	1,06 - 1,30
Taxa superficial 2ª Câmara	m/hora	0,75 - 0,87
Carga aplicada	gDBO/gSSV.d	0,19
Descarte mensal de lodo	m ³	418,00
Volume estimado do lodo (50% do volume do reator)	m ³	557,00

A tabela 5.4 aponta os valores de vazão da ETE no caso de implementação de reatores de igual suporte aos previamente instalados, cada reator é responsável por aproximadamente 37 L/s, assim, como aponta a Tabela 5.4, a instalação de um reator que incremente a vazão suportada de 112 L/s para aproximadamente 150 L/s, irá reduzir o número de ocorrências indesejadas de 40,24% para 5, 29%. O incremento de vazão de 112 L/s para 186,6 L/s, reduzirá a ocorrência de vazões acima da vazão de projeto de 40,24% para 3,93%. O incremento de dois reatores não irá acarretar em ganho significativo de redução de ocorrências comparado à implementação de um só reator, portanto, a proposta buscará a implementação do sistema de tratamento em, aproximadamente, 40 L/s.

É importante ressaltar que o PDAE afirma que não há previsão do aumento da rede de coleta de esgoto sanitário das regiões atendidas pela ETE Paranoá. Assim, o cenário atual de atendimento populacional, deverá ser mantido nos futuros anos. Por este fato, o presente trabalho visa solucionar os problemas operacionais da ETE Paranoá, utilizando dados da atualidade.

Para a realização do dimensionamento foi elaborada uma planilha Excel com o passo a passo do dimensionamento de uma estação de tratamento, com base na metodologia proposta no livro Reatores Anaeróbios de Chernicharo (2007).

Tabela 5.4 Valores de ocorrências de vazões superiores e inferiores à de projeto.

3 REATORES 112 L/s		
Nº de ocorrências de vazão superior a 112 L/s	563	40,24%
Nº de ocorrências de vazão inferior a 112 L/s	836	59,76%
Nº total de medições	1399	100%
4 REATORES 149,3 L/s		
Nº de ocorrências de vazão superior a 149,3 L/s	74	5,29%
Nº de ocorrências de vazão inferior a 149,3 L/s	1325	94,71%
Nº total de medições	1399	100%
5 REATORES 186,6 L/s		
Nº de ocorrências de vazão superior a 186,6 L/s	55	3,93%
Nº de ocorrências de vazão inferior a 186,6 L/s	1344	96,07%
Nº total de medições	1399	100%

5.3 PROPOSTA DE AMPLIAÇÃO

Com base nos dados analisados a proposta de dimensionamento visa aumentar a capacidade dos reatores com base em três características que servem como ponto de partida:

1. Os reatores apresentaram momentos de sobrecarga em todos os dias durante os 56 dias de medição;
2. As regiões administrativas do Paranoá e Itapoã não tem previsão ampliação do sistema de coleta de esgoto, indicando que a população atendida não deve alterar.
3. Os dados diários de vazão representam o fim do mês de abril ainda chuvoso, seguido meses de seca, indicando que a concentração dos esgotos estava elevada.

A Figura 5.9 aponta os índices pluviométricos do ano de 2018, mesmo ano de coleta dos dados analisados para o desenvolvimento do projeto.

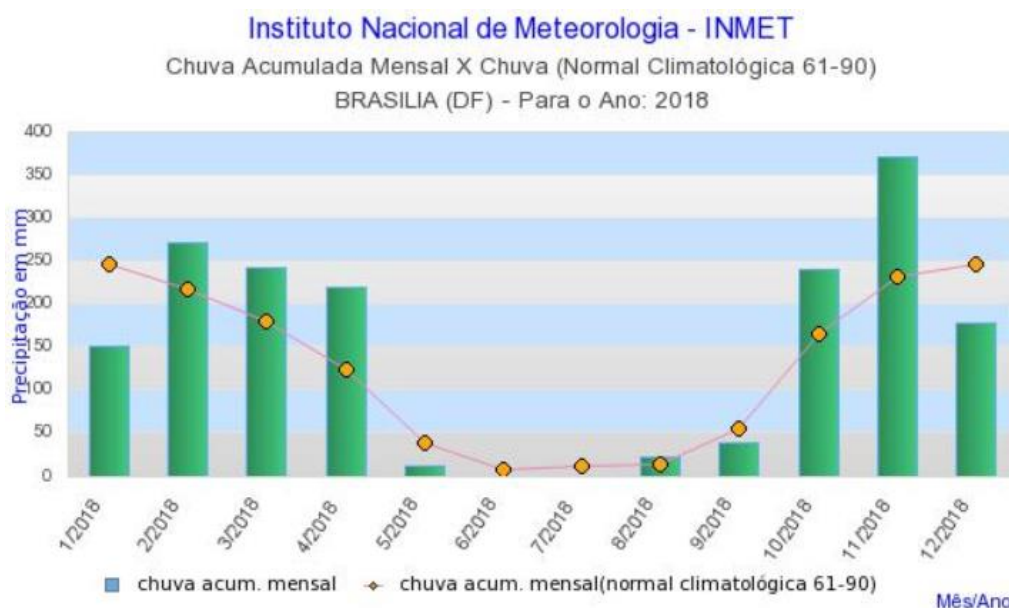


Figura 5-9 Gráfico de chuva acumulada mensal x Chuva normal histórica

Outro ponto de partida é buscar o dimensionamento de reatores com características físicas e operacionais similares aos já operantes na ETE Paranoá, visando homogeneidade do sistema de tratamento e facilidade operacional diária da estação de tratamento.

Com base nos dados observados foram traçados dois cenários distintos:

- a) instalação de um reator UASB ou;
- b) instalação de dois reatores UASB.

5.3.1 Dimensionamento Reator UASB 40 L/s

Os pontos de partida do dimensionamento do reator foram a vazão e a concentração do esgoto a fluente da ETE. A partir do conhecimento de que o aumento da capacidade em 40 L/s seria satisfatório para a ETE Paranoá e sabendo que, de acordo com os dados operacionais, a concentração média do esgoto é de 1147,27 mg/L, obtivemos o volume (V) do reator a partir da adoção da carga hidráulica volumétrica (CHV), seguindo a Equação 4, os resultados obtidos estão expressos no Tabela 5.5. A concentração do afluente é importante para a decisão de qual forma deve ser calculado o volume do reator, como foi explicado anteriormente.

Tabela 5.5 Resultado dos cálculos de obtenção do volume do reator.

Carga hidráulica volumétrica		
A carga hidráulica volumétrica é a quantidade volumétrica de esgoto que passa pelo reator diariamente, por unidade de volume do reator.		
Q: vazão (L/s)	40	Dado
Q: vazão (m³/d)	3456	Trasnformado
V: volume total do reator (m³)	1152	Resultado
CHV: carga hidráulica volumétrica (m³/m³.d)	3	Valor estipulado (olhar comentário em vermelho.)
OBS: Estudos experimentais demonstram que a carga hidráulica volumétrica não deve ultrapassar o valor de 5,0 m³/m³.d, o que equivale a um tempo de detenção hidráulica mínimo de 4,8 horas (= 1/5 x 24h).		

Após obter o volume do reator encontramos o valor do tempo de detenção hidráulica seguindo as Equações 5 e 6, os resultados estão expressos no Tabela 5.6.

Tabela 5.6 Resultado dos cálculos de obtenção do tempo de detenção hidráulica

Tempo de detenção hidráulica		
O tempo de detenção é o tempo que uma parcela imaginária de fluido fica retida no reator sofrendo a digestão anaeróbia.		
Q: vazão (m³/d)	3456	Dado
V: volume total do reator (m³)	1152	Valor obtido a partir da estipulação de uma CHV
CHV: carga hidráulica volumétrica (m³/m³.d)	3	Valor estipulado (olhar comentário em vermelho e tabela de temperaturas)
t: tempo de detenção hidráulica (d)	0,33	Resultado
t: tempo de detenção hidráulica (h)	8,00	Checar valor na Tabela 3.3

Embora não exista limitação quanto ao volume do reator, por facilidades construtivas e operacionais tem-se recomendado que os volumes dos reatores não ultrapassem a 2.500 m³. No caso de pequenos sistemas, para o tratamento de esgotos domésticos, a adoção de reatores modulados apresenta diversas vantagens. Nesse caso, tem sido usual a adoção de módulos com volumes da ordem de 400 a 500 m³ Chernicharo (2007).

Seguindo as instruções de Chernicharo (2007), optou-se por adotar 3 módulos. Assim, encontramos o valor volumétrico modular, conforme mostra a Tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Resultado do cálculo volumétrico modular.

Volume modular		
Volume total	1152	Dado
Número de Módulos	3	Estipulado
Volume do módulo	384	CALCULADO

A etapa seguinte encontrou o valor da área de cada reator, como já foi explicando anteriormente, o cálculo da área parte da estipulação da altura do reator. Seguindo recomendações, a altura (H) estipulada foi de 4,5m. O resultado foi arredondado para 85 m², visando facilitar a construção. A Tabela 5.8 aponta os valores obtidos.

Tabela 5.8 Resultado do cálculo da área modular.

Relação V vs H vs A		
Nessa etapa irão ser estipulados valores de Área e Altura		
V modular (m³)	384.00	Calculado anteriormente
H(m)	4,5	Estipulado
A modular (m²)	85,33	CALCULADO

Após encontrar os valores de tempo de detenção e a altura do reator encontramos o valor da velocidade superficial de fluxo, segundo a Equação 11. O resultado está representado na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 Resultado do cálculo da velocidade superficial do fluxo.

Velocidade superficial do fluxo a partir da altura do reator e o tempo de detenção hidráulico		
H: altura do reator (m).	4,5	Estipulado
t: tempo de detenção hidráulica (d)	0,33	Calculado anteriormente
v: velocidade superficial ou ascensional do fluxo (m/d)	13,5	CALCULADO
v: velocidade superficial ou ascensional do fluxo (m/h)	0,5625	Checar valor na Tabela 3.4

A próxima etapa do dimensionamento é calcular o número de distribuidores do afluente dentro do reator. Nessa etapa é necessário estipular a área de influência de cada distribuidor. Considerando que o afluente possui concentração de 20 a 40 kgSST/m³, segundo as recomendações da Figura 3.6, foi estipulado o valor de 2,3 para a área de influência de cada distribuidor de afluente.

Seguindo a Equação 12, o número de distribuidores necessários está representado na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 Resultado do cálculo do número de distribuidores.

Número de distribuidores		
O número de distribuidores é determinado de acordo com a relação entre a área de influência de cada distribuidor e a área de secção transversal do reator.		
A: área de secção transversal do reator (m ²)	256,00	Dado
Ad: área de influência de cada distribuidor (m ²)	2,2	Consultar figura 3.6
Nd= número de distribuidores (arredondar para cima)	116,36	Resultado

Assim, adotamos o valor de 117 tubos de distribuição separados uniformemente no interior do reator, 9 tubos no eixo vertical e 13 tubos no eixo horizontal, como mostra o esquema na Figura 5.10. Os tubos estão à 15 cm de distância do reator, seguindo instruções presentes no item 3.5.7.

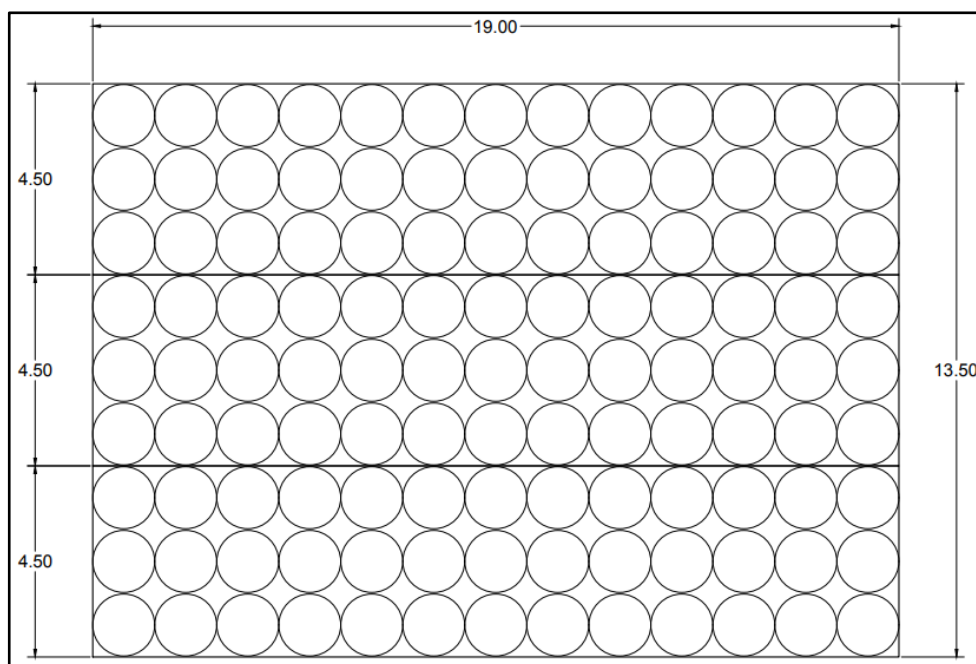


Figura 5-10 Esquemas das áreas de influência de cada tubo.

A estimativa da eficiência de remoção de DQO do sistema, de acordo com a Equação 15 está representado na Tabela 5.11.

Tabela 5.11 Estimativa de remoção de DQO.

ESTIMATIVA DE REMOÇÃO DE DQO

t: tempo de detenção hidráulica (h)	8	Calculado anteriormente
0,68: constante empírica	0,68	Constante
0,35: constante empírica.	0,35	Constante
EDQO: eficiência do reator UASB, em termos de remoção de DQO (%)	67,16	RESUTADO

A estimativa da eficiência de remoção de DBO do sistema, de acordo com a Equação 16 está representado na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 Estimativa de remoção de DBO

ESTIMATIVA DE REDUÇÃO DE DBO

t: tempo de detenção hidráulica (h)	8	Calculado anteriormente
0,70: constante empírica	0,7	Constante
0,50: constante empírica.	0,5	Constante
EDBO: eficiência do reator UASB, em termos de remoção de DBO (%)	75,25	RESUTADO

A estimativa de concentração da concentração de DBO e DQO no efluente dos reatores, adotando os valores concentração afluente de 680,00 mg/L e 1147,227 mg/L respectivamente, estão representados nas Tabelas 5.13 e 5.14.

Tabela 5.13 Estimativa da concentração de DQO no efluente final.

ESTIMATIVA DA CONCENTRAÇÃO DQO NO EFLUENTE FINAL		
S ₀ : concentração de DQO afluente (mg/L);	1147,22	Dado
E: eficiência de remoção de DQO ou DBO (%).	67,16	Calculado anteriormente
S: concentração de DQO ou de DBO efluente (mg/L);	376,77	RESULTADO

Tabela 5.14 Estimativa da concentração de DBO no efluente final.

ESTIMATIVA DA CONCENTRAÇÃO DE DBO NO EFLUENTE FINAL		
S ₀ : concentração de DBO afluente (mg/L);	680,00	Dado
E: eficiência de remoção de DQO ou DBO (%).	75,25	Calculado anteriormente
S: concentração de DQO ou de DBO efluente (mg/L);	168,29	RESULTADO

A avaliação da produção de biogás foi calculada segundo as Equações 19, 20 e 21. A quantidade de biogás gerado é calculada a partir do valor de DQO, conforme apresentam as Tabelas 5.15 a 5.18.

Tabela 5.15 Resultado da produção de Biogás pelo reator.

Produção de Biogás		
A quantidade de biogás gerado nos reatores UASB é calculado a partir da carga de DQO presente no substrato.		
Q: Vazão de esgoto afluente (m ³ /d);	3456	Calculado anteriormente
S ₀ : Concentração de DQO afluente (kgDQO/m ³);	1,14	Calculado anteriormente
S: Concentração de DQO efluente (kgDQO/m ³);	0,38	Adotando eficiência de remoção 67,16%
Y _{obs} : Coeficiente de produção de sólidos no sistema, em termos de DQO (0,11 a 0,23 kg/ kg).	0,17	0,11 a 0,24 (literatura)
DQO_{CH4}: Carga de DQO convertida em metano (kgDQO_{CH4}/d);	1967,95	Resultado

Tabela 5.16 Resultado do fator de correção para a temperatura do reator.

Fator de Correção para a temperatura operacional do reator		
P: Pressão atmosférica (1atm);	1	DADO
KDQO: DQO correspondente a um mol de CH ₄ (64gDQO/mol);	64	DADO
R: Constante dos gases (0,08206 atm.L/mol.K);	0,08	DADO
T: Temperatura operacional do reator (°C)	20	DADO
F(T): Fator de correção para temperatura operacional do reator (kgDQO/m³)	2,66	RESULTADO

Tabela 5.17 Resultado da conversão de produção de massa de metano em volume de metano.

Conversão de produção de massa de metano em volume de metano		
DQO _{CH4} : Carga de DQO convertida em metano (kG _{DQO} CH ₄ /d);	1967,95	Calculado anteriormente
F(T): Fator de correção para temperatura operacional do reator (kgDQO/m ³)	2,66	Calculado a seguir
Q_{CH4} : Produção volumétrica de metano (m³/d)	739,32	Resultado

Tabela 5.18 Produção real de metano

Produção Real de Metano		
Q _{CH4} : Produção volumétrica de metano (m ³ /d);	739,32	CALCULADO
C _{CH4} : Concentração de metano no biogás.	0,75	70 a 80 %
Q_{biogás}: Produção volumétrica de biogás (m³/d);	554,49	Resultado

Dimensionamento das aberturas de passagem para o decantador

Partiu da adoção de 6 separadores trifásicos em cada módulo do reator.

- Número de aberturas simples, ao longo do comprimento do reator (nas extremidades longitudinais dos separadores trifásicos):

$$\Rightarrow N_{s-long} = 36 \text{ (3 módulos } \times \text{ 6 separadores/módulo } \times \text{ 2 aberturas/separador)}$$

- Número de aberturas simples, ao longo da largura do reator (nas laterais dos separadores trifásicos localizados juntos as paredes do reator):

$$\Rightarrow N_{s-lat} = 6 \text{ (3 módulos } \times \text{ 2 separadores/módulo } \times \text{ 1 abertura/separador)}$$

- Número de aberturas duplas, ao longo da largura do reator (entre os separadores trifásicos):

- $N_{d-long} = 15$ (3 módulos x 5 aberturas duplas/ módulos);
- d. Número equivalente de aberturas simples, ao longo da largura do reator:
 - $N_{eq-as}: 36$ ($6 + 15 \times 2$);
- e. Largura de cada abertura simples:
 - $a = 0,35$ m (adotada).
- f. Comprimento de cada abertura simples, ao longo da largura do reator:
 - $C_{as}: 3,8$ ($4,5 - 2 \times 0,35$);
- g. Comprimento equivalente de abertura simples, ao longo da largura do reator:
 - $C_{eq-as-larg}: 136,8$ m ($36 \times 3,8$);
- h. Comprimento equivalente de abertura simples, ao longo do comprimento do reator:
 - $C_{eq-as-comp}: 114$ m (3 módulos x 19 m/abertura x 2 aberturas/módulo).
- i. Área total das aberturas:
 - $A_{ab} = (C_{eq-as-larg} + C_{eq-as-comp}) \times a = 136,8 + 114 \times 0,35 = 87,78$ m².

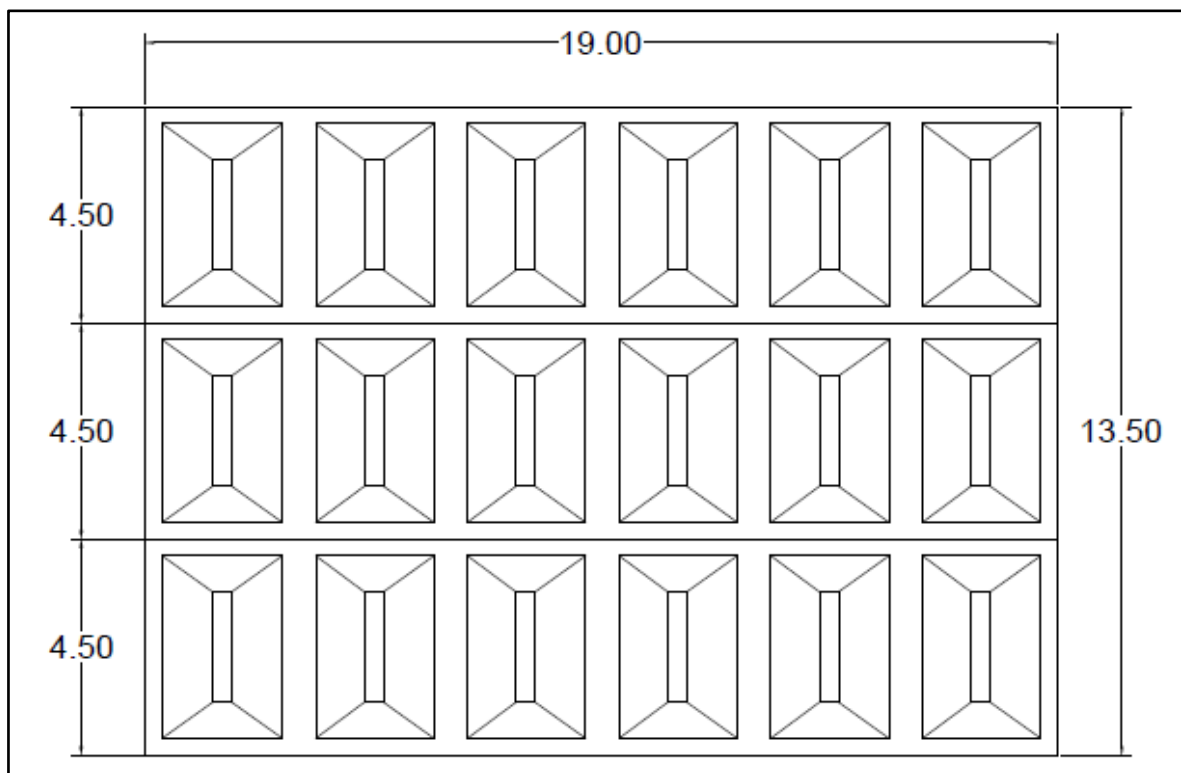


Figura 5-11 Representação esquemática dos separadores trifásicos (planta superior).

Verificação da velocidade através das aberturas

Foi realizada pela simples divisão da vazão pela área de abertura, conforme aponta a Equação 14. Observa – se que o valor encontrado está dentro das recomendações de Chernicharo, apresentado na Tabela 3.6

$$v_{ab} = Q/A_{ab} = (144\text{m}^3/\text{h}) / (87,78\text{m}^2) = 1,64 \text{ m/h}$$

- Abertura simples, ao longo do comprimento do reator:

Comprimento = 19 m;

Largura = 0,35 m.

- Abertura simples, ao longo da largura do reator:

Comprimento = 4,5 m – (2 x 0,35) m = 3,8 m;

Largura = 0,35 m.

- Abertura dupla, ao longo do comprimento do reator:

Comprimento = 4,5 m – (2 x 0,35) m = 3,8 m;

Largura = 0,7 m.

Determinação da área superficial do compartimento de decantação:

- Número de compartimentos de decantação:

N_{dec} : 18 (6 em cada módulo)

- Comprimento de cada decantador:

C_{dec} : 4,5 m (ao longo da largura do reator)

- Comprimento total de decantadores:

$C_{Tdec} = 18 \times 4,5 \text{ m} = 81 \text{ m}$

- Largura de cada coletor de gás, junto à interface líquido-gás:

$L_i = 0,25 \text{ m}$ (adotada)

- Largura externa de cada coletor de gás:

$L_g = L_i + (2 \times e) = 0,25 \text{ m} + (2 \times 0,005 \text{ m}) = 0,26 \text{ m}$ (onde “e” é a espessura da parede do coletor de gás, considerando-se a confecção do mesmo em fibra de vidro)

- Largura útil de cada compartimento de decantação:

$L_{dec} = [19 \text{ m} - (6 \text{ coletores de gás} \times 0,26 \text{ m/coletor})] / 6 \text{ decantadores} = 2,90 \text{ m}$

- Área total de decantadores:

$A_{Tdec} = C_{Tdec} \times L_{dec} = 81 \text{ m} \times 2,90 \text{ m} = 234,9 \text{ m}^2$

Verificação das taxas de aplicação superficiais nos decantadores (q_{s-dec})

Observa – se que o valor encontrado está dentro da faixa de valores recomendados por Chernicharo, apresentado na Tabela 3.5:

$$q_{s-dec} = Q/A_{Tdec}$$

$$q_{s-dec} = 144 \text{ m}^3/\text{h} / 234,9 \text{ m}^2 = 0,61 \text{ m/h}$$

➤ Comprimento: 4,5 m

➤ Largura: 2,90 m

Determinação do volume do compartimento de decantação:

a. Abertura da aba inclinada do compartimento de decantação:

➤ $h_1 = 1,6 \text{ m}$ (adotado, conforme indicação do item 3.5.8.2. Ver Figura 5.11)

b. Largura da aba inclinada do compartimento de decantação:

➤ $L_{aba} = (L_{dec} / 2) - a = (2,90 / 2) \text{ m} - 0,35 \text{ m} = 1,10 \text{ m}$

c. Altura da aba vertical do compartimento de decantação:

➤ $h_2 = 0,40 \text{ m}$ (adotado, conforme indicação do item 3.5.8.2.)

d. Área triangular, compreendida entre as paredes inclinadas do decantador (ver Figura 5.11):

➤ $A_{dec1} = [(L_{aba} \times h_1) / 2] = [(1,10 \times 1,60) / 2] \text{ m}^2 = 1,76 \text{ m}^2$

e. Área retangular, compreendida entre as áreas triangulares (ver Figura 5.11)

➤ $A_{dec2} = h_1 \times (2 \times a = 1,60 \text{ m} \times (2 \times 0,36 \text{ m})) = 1,12 \text{ m}^2$

f. Área retangular, compreendida entre as paredes verticais do decantador (ver Figura 5.11):

➤ $A_{dec3} = h_2 \times L_{dec} = 0,40 \times 2,90 = 1,16 \text{ m}^2$

g. Área total, ao longo da profundidade do decantador:

➤ $A_{dec} = (A_{dec1} \times 2) + A_{dec2} + A_{dec3} = 1,76 \text{ m}^2 + 1,12 \text{ m}^2 + 1,16 \text{ m}^2 = 4,04 \text{ m}^2$

h. Volume total de decantadores:

➤ $V_{dec} = N_{dec} \times A_{dec} \times C_{dec} = (3 \text{ módulos} \times 6 \text{ dec/módulo}) \times 4,04 \text{ m}^2 \times 4,5 \text{ m}$
 $= 327,24 \text{ m}^3$

i. Inclinação da aba do compartimento de decantação, em relação à horizontal (ver Figura 5.11):

➤ $\alpha = \text{tg} (h_1 / L_{aba}) = \text{tg} (1,60 \text{ m} / 1,10 \text{ m}) = \text{tg} (1,45) \approx 55^\circ$

O ângulo se encontra dentro das recomendações presentes no item 3.5.8.2.

Verificação dos tempos de detenção hidráulica dentro dos decantadores (t_{dec}):

$$t_{dec} = V_{dec} / Q = 327,24 \text{ m}^3 / 144 \text{ m}^3/\text{h} = 2,27 \text{ h}$$

O tempo de detenção encontra-se dentro dos valores recomendados na Tabela 3.5.

Estabelecemos o compartimento de decantação com as seguintes dimensões em corte:

➤ Comprimento: 4,5 m

- Largura: 2,90 m

Dimensionamento dos coletores de gases

- Número de coletores de gases:
 - 18 (6 em cada módulo)
- Comprimento de cada coletor:
 - $C_g = 1,6 \text{ m} (4,5 - (2 \times 1,1) - (2 \times 0,35))$
- Comprimento total de coletores de gases
 - $C_{tg} = 1,6 \text{ m} \times 16 = 25,6 \text{ m}$
- Largura de cada coletor, junto à interface líquido-gás:
 - $L_i = 0,25 \text{ m} \text{ (adotado)}$
- Área total de coletores de gases, junto à interface líquido-gás:
 - $A_i = C_{tg} \times L_i = 25,6 \times 0,25 = 6,4 \text{ m}^2$

Verificação da taxa de liberação de biogás nos coletores, de acordo com a Equação 13:

$$K_g = Q_{\text{biogás}} / A_i = [(554,49 \text{ m}^3/\text{d}) / 24 \text{ h/d}] / 6,4 \text{ m}^2 = 3,60 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$$

Observa-se que a taxa de liberação está dentro da faixa de valores sugeridos no item 3.5.8.1.

Portanto cada coletor de biogás terá as seguintes dimensões:

- Comprimento: 1,6 m
- Largura: 0,25 m

As Figuras 5.12 e 5.13 apresentam cortes transversal e longitudinal respectivamente do reator UASB, detalhando alguns dos itens dimensionados nos cálculos acima.

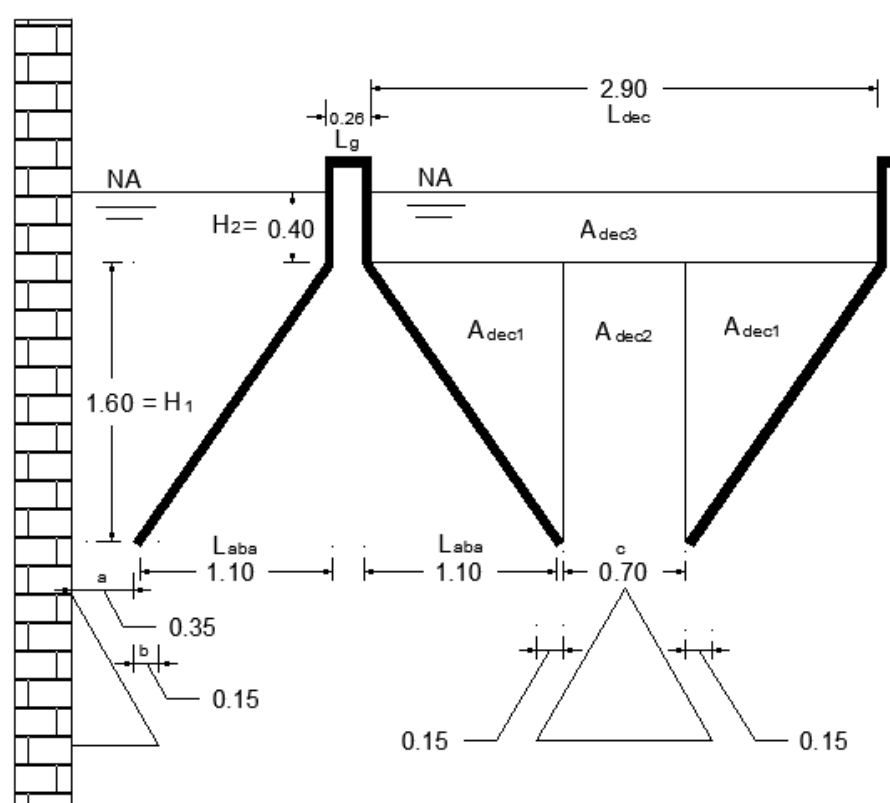


Figura 5-12 Corte transversal (esquemático) dos separadores trifásicos

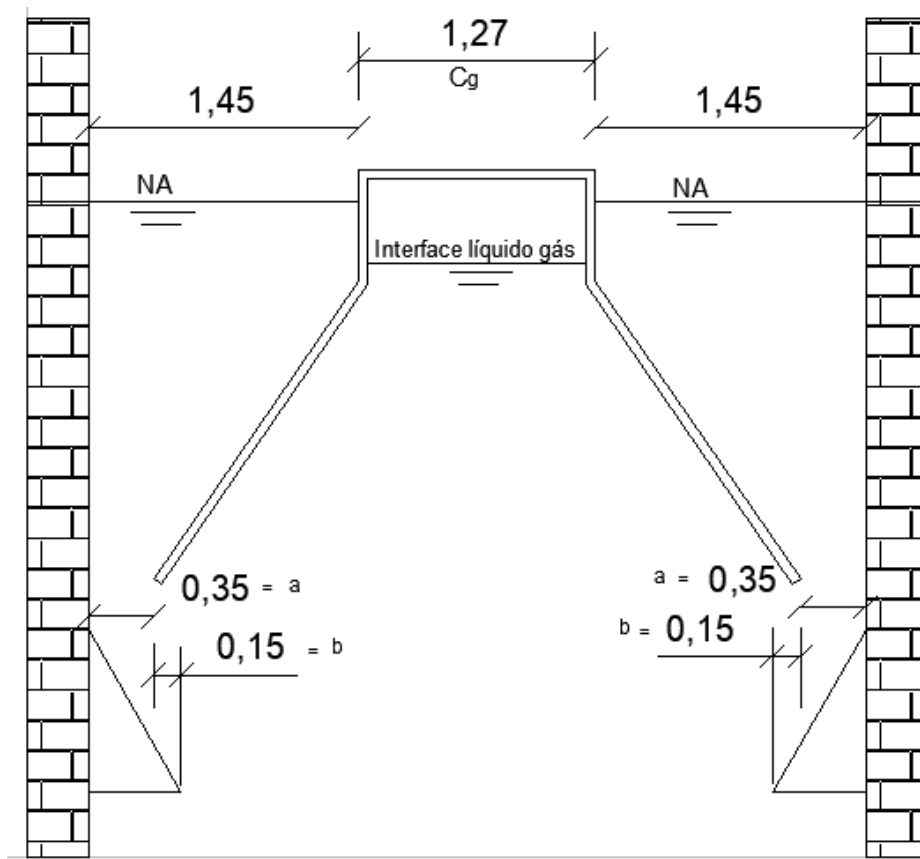


Figura 5-13 Corte longitudinal (esquemático) de um separador trifásico.

Avaliação da produção de lodo:

A produção esperada de lodo no sistema de tratamento pode ser estimada a partir das Equações 23 e 24.

$$\text{➤ } P_{\text{lodo}} = Y \times L_{0-\text{UASB-DQO}} = 0,18 \text{ kgSST/kgDQO}_{\text{apl}} \times 2000 \text{ kgDQO/d} = 360 \text{ kgSST/d}$$

$$\text{➤ } V_{\text{lodo}} = P_{\text{lodo}} / (\gamma \times C_{\text{lodo}}) = (360 \text{ kgSST/d}) / (1020 \text{ kg/m}^3 \times 0,06) = 5,88 \text{ m}^3/\text{d}$$

Dimensionamento dos leitos de secagem

a. Ciclo de operação dos leitos de secagem

$$\text{➤ } T_c = 20 \text{ d (adotado de acordo com o item 3.5.12 – d).}$$

b. Massa de lodo retirada dos reatores, por ciclo de operação dos leitos

$$\text{➤ } M_c = P_{\text{lodo}} \times T_c = 360 \text{ kgSST/d} \times 20 \text{ d} = 7200 \text{ kgSST}$$

c. Volume de lodo retirado dos reatores, por ciclo de operação dos leitos

$$\text{➤ } V_c = V_{\text{lodo}} \times T_c = 5,88 \text{ m}^3/\text{d} \times 20 \text{ d} = 117,6 \text{ m}^3$$

d. Taxa de aplicação de sólidos nos leitos

$$\text{➤ } T_{\text{leito}} = 10 \text{ kgSST/m}^2 \text{ (adotado de acordo com o item 3.5.12 – d).}$$

e. Área necessária de leitos de secagem

$$\text{➤ } A_{\text{leito}} = M_c / T_{\text{leito}} = 7200 \text{ kgSST} / 10 \text{ kgSST/m}^2 = 720 \text{ m}^2$$

f. Geometria das células de secagem

$$\text{➤ } 4 \text{ células de } 18 \text{ m} \times 10 \text{ m}$$

g. Altura da lâmina de lodo, após a carga nos leitos:

$$\text{➤ } H_{\text{lodo}} = V_c / A_{\text{leito}} = 117,6 \text{ m}^3 / 720 \text{ m}^2 = 0,16 \text{ m}$$

5.3.2 Dimensionamento das lagoas de alta taxa

O dimensionamento das lagoas de alta taxa foi executado conforme indicado pelos autores Azov e Shelef, (1982), observando as diferenças entre os parâmetros climáticos entre as regiões de Brasília (Brasil) e Haifa (Israel), a população indicada (50.000 hab), além das diferenças entre os esgotos tratados.

5.3.2.1 Temperatura e Radiação solar

A comparação entre as temperaturas e radiações solares entre as duas localidades

apontou que a região de Brasília tem condições climáticas mais favoráveis ao crescimento de algas, comparado com Haifa. As médias de temperatura mensais em Brasília variam de aproximadamente 19°C até 23 °C enquanto em Haifa as temperaturas variam de 12 °C até 27°C. Os níveis de radiação solar em Brasília variam de aproximadamente 3400 cal. cm⁻². d⁻¹ até 4300 cal. cm⁻². d⁻¹, enquanto em Haifa a radiação está na faixa de 300 cal. cm⁻². d⁻¹ a, aproximadamente, 700 cal. cm⁻². d⁻¹, conforme aponta a Figura 3.11. As Figuras 5.14 e 5.15 apresentam respectivamente as médias mensais de temperatura e radiação solar média em Brasília.

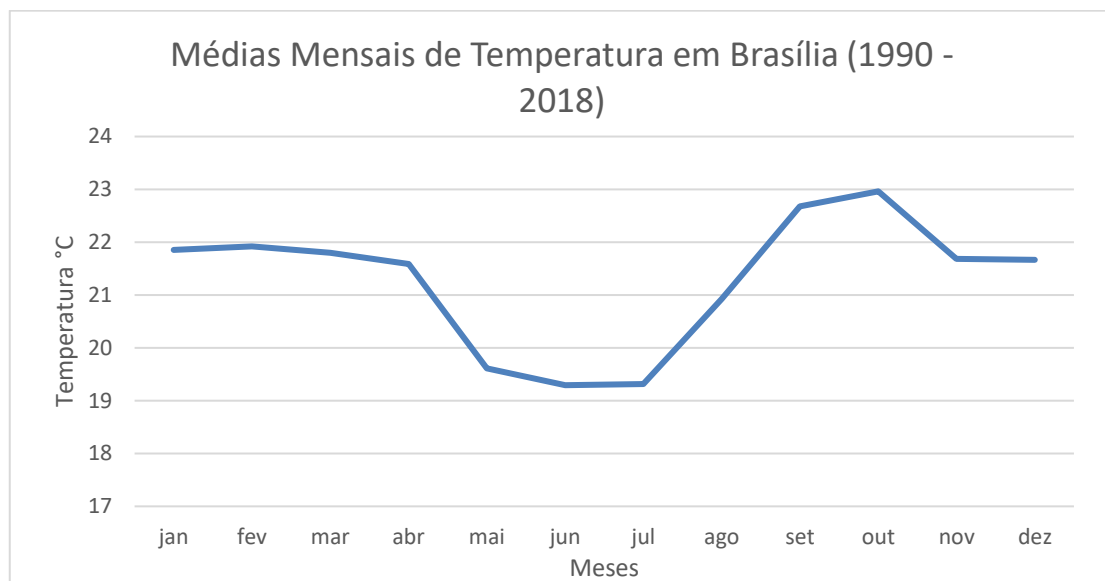


Figura 5-14 Médias mensais de temperatura em Brasília. Fonte: INMET.

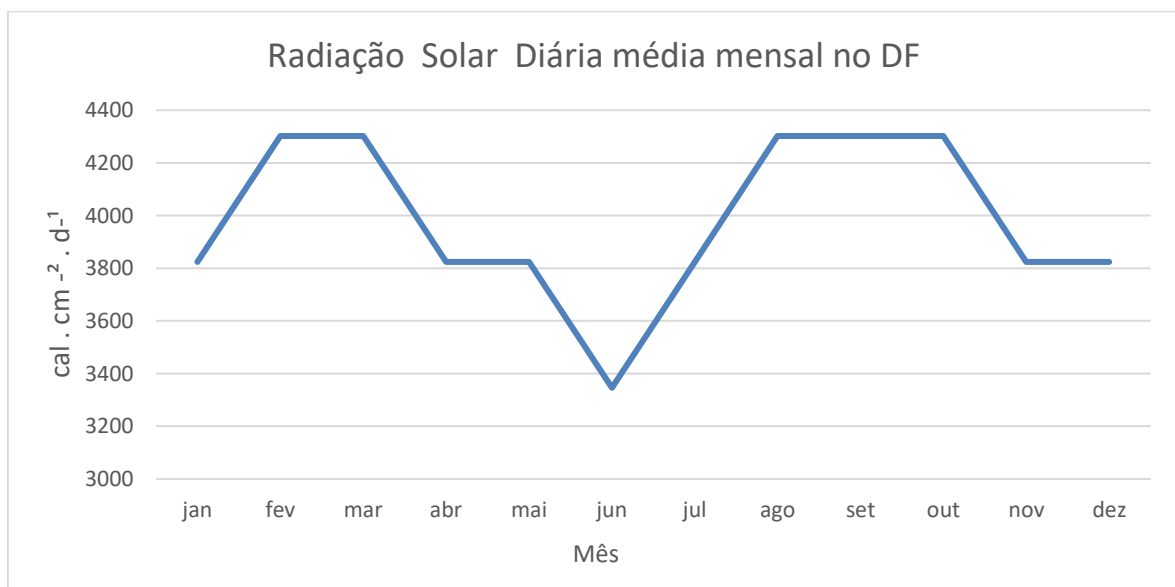


Figura 5-15 Radiação solar média diária mensal no DF. Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil.

5.3.2.2 Características do esgoto Bruto

A Tabela 5.19 apresenta dados da composição do esgoto bruto afluente a ETE Paranoá medidos nos anos de 2014, 2015 e 2016. Para realizar a comparação entre os esgotos tratados utilizamos os dados do efluente dos reatores UASB, conforme mostra a Tabela 5.20, é possível concluir que o valor de DBO afluente as lagoas de alta taxa da ETE Paranoá é, aproximadamente, 16% menor que a DBO tratado em Haifa. O parâmetro de DQO na ETE Paranoá é 35% menor que o esgoto de Haifa. O pH do esgoto da ETE Paranoá é, em média, 6,9 e no estudo variou entre 7,8 e 7,5. Finalmente, os SST's da ETE Paranoá são da ordem de 110,85 mg. l⁻¹ enquanto na região do estudo variou entre 528 e 288. A Tabela 5.21 resume a comparação entre os parâmetros observados.

Tabela 5.19 Composição do esgoto bruto afluente a ETE Paranoá.

Parâmetro Afluente ao UASB	2014	2015	2016	Média
Alcalinidade Total	335,98	309,11	309,76	318,28
CT (NMP/100mL)	1,75E+07	2,87E+07	2,25E+07	2,29E+07
DBO (mg/L)	678,38	660,71	698,06	679,05
DQO (mg/L)	1056,88	1182,26	1203,31	1147,48
pH	7,08	7,15	7,34	7,19
Pt (mg/L)	11,85	11,23	11,09	11,39
SS (mg/L)	472,20	442,00	450,58	454,93
TKN (mg/L)	109,32	104,1		106,71

Tabela 5.20 Característica dos Efluentes ao UASB.

Características do Efluente ao UASB	
SST	110,85
DQO	535,88
DBO	237,43
pH	6,8

Tabela 5.21 Resumo comparativo entre parâmetros do esgoto tratado na ETE Paranoá e esgotos tratados em Israel.

Resumo comparativo	ETE PARANOÁ	Technion city	HAIFA
DBO (mg/L)	237,43	412	323
DQO (mg/L)	535,88	978	818
pH	6,9	7,8	7,5
SST (mg/L)	110,85	528	288

Considerando que tanto a DBO quanto a DQO são inferiores aos valores apresentados na sugestão do estudo realizado por Azov e SHELEF (1982), os valores de temperatura e radiação solar na ETE Paranoá são mais favoráveis ao crescimento das algas e que o valor de pH se encontra próximo aos da região de estudo, optamos pela implementação do sistema de variação de profundidades.

Foi dimensionada uma Lagoa de alta taxa com as dimensões de 0.1 km² de área e operando em profundidades de 0,3 até 0,6m, conforme apresenta a Figura 5.16. Considerando que a lagoa do estudo realizado por Azov e SHELEF (1982), era única etapa de tratamento e atendia 50.000, acredita-se que a lagoa dimensionada irá operar com folga.



Figura 5-16 Possível localização do Reator e da Lagoa de Alta Taxa.

Acredita-se que à época do dimensionamento da ETE Paranoá foram dimensionadas 3 lagoas por falta de dados a respeito das características do esgoto, assim, o correto a ser feito à época era dimensionar um sistema com folga operacional.

A lagoa deve ser implantada para receber a vazão do novo reator implantado. Dentro da lagoa deve ser instalado um dispositivo de mistura, seguindo sugestões dos autores Y. Azov and G. SHELEF. Os autores ressaltam ainda que o tempo de detenção varia conforme à variação de profundidade da lagoa. A Figura 5.17 apresenta os tempos de detenção utilizados na região de Haifa. Para a ETE Paranoá aconselha-se que seja estipulado um tempo de detenção observando as taxas de crescimento das algas, que será diferente de Haifa, devido as características do esgoto e as condições climáticas de Brasília.

Month	Depth (m)	Retention time (days)
I	0.60	5.0
II, XII	0.55	4.6
III, XI	0.50	4.2
IV, X	0.45	3.7
V, IX	0.40	3.3
VI, VIII	0.35	2.9
VII	0.30	2.5

Figura 5-17 Variação do tempo de detenção em função da profundidade da lagoa e os meses do ano em Haifa.

As Tabelas 5.22 e 5.23 apontam o resumo das características construtivas do reator UASB e da lagoa de alta taxa, respectivamente.

Tabela 5.22 Resumos das características construtivas do Reator UASB.

Resumos características do Reator UASB	
Vazão Máxima	40 L/s
Volume	1152 m ³
Comprimento	19 m
Largura	13,5 m
Altura	4,5 m
Número de distribuidores	117
Área de influência dos distribuidores	2,2 m ²
Número de módulos	3
Separadores trifásicos em cada módulo	6
Área total de aberturas para o decantador	87,78 m ²
Área total dos compartimentos de decantação (separador de sólidos)	243,9 m ²
Inclinação da aba do compartimento de decantação	55°
Volume total dos compartimentos de decantação	327,24 m ³

Tabela 5.23 Resumo das características construtivas da lagoa de alta taxa.

Resumos características da lagoa de alta taxa	
Área total	0,1 Km ²
Alturas de funcionamento	0,3 a 0,6 m

6 CONCLUSÕES

No presente trabalho realizou-se uma avaliação das condições de funcionamento da ETE Paranoá, projetada no ano de 1997 para atender a população da cidade satélite Paranoá. Inicialmente, analisamos os dados populacionais de atendimento da ETE. O Plano Diretor de Água e Esgotos do Distrito Federal - (DAE/DF, realizado em 2010 aponta que, de acordo com estudos realizados pelo próprio Plano Diretor e pela Companhia de Planejamento do Distrito Federal - CODEPLAN, até o ano de 2040 não se espera aumento significativo da população atendida pela rede de captação do esgoto nas regiões administrativas do Paranoá e do Itapoã. Atualmente, a ETE atende as Regiões administrativas do Paranoá, Itapoã e recebe lodo originário de Sobradinho II, totalizando, em 2015, 80.034 pessoas atendidas. A projeção aponta que até o ano de 2040 serão atendidas 80.525 pessoas.

A análise por imagens de satélite aponta que do ano de 2002 até 2019 houve grande crescimento populacional da região do Itapoã e o surgimento de um condomínio à oeste do Paranoá, o Paranoá parque. A cidade satélite do Paranoá apresentou adensamento habitacional moderado e pouca expansão territorial.

A análise dos dados históricos fornecidos pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB aponta que as cargas diárias tratadas pela ETE Paranoá se encontram dentro dos valores calculados à época do projeto da estação. Porém, a análise dos dados horários de vazão aponta que existe diariamente sobrecarga dos reatores UASB devido as altas vazões geradas em horários de pico. A maior vazão afluenta a ETE foi de 243,0 L/s às 23h do dia 26/04/2018 e a mínima foi de 17,0 L/s às 4h do dia 08/05/2018. A vazão total média afluenta foi de 92,28 L/s. A vazão excedente ao suportado pelos reatores é transferida para a próxima etapa do tratamento, as lagoas de alta taxa, evento denominado *by-pass*.

O dimensionamento de um novo reator com capacidade de 40 L/s representa aumento de, aproximadamente, 35,7% da capacidade operacional da ETE Paranoá. É possível analisar também que a implementação de um reator que aumente a capacidade em 60 L/s não resulta em ganho significativo para os dados analisados de sobrecarga. Conclui-se que o incremento de 40 L/s na capacidade da ETE Paranoá é satisfatório para as condições operacionais atuais e futuras, com base nos dados analisados.

Como recomendado por Chernicharo (2007), o dimensionamento de uma lagoa de alta taxa, constituindo etapa de pós tratamento do efluente ao reator UASB, será suficiente para aliviar as sobrecargas recorrentes e melhorar as taxas de remoção globais da ETE

Paranoá.

Recomenda-se que sejam analisados dados atualizados de consumo per capita, população e coeficiente de retorno em trabalhos futuros, para que haja confirmação ou ajustes na proposta de ampliação presente neste projeto. Recomenda-se, ainda, que seja realizado um estudo para avaliar a eficiência do funcionamento dos 4 reatores em paralelo, como foi proposto nesse projeto.

FALTOU AS RECOMENDAÇÕES:

Yovanka ressaltou a importância da avaliação do dimensionamento dos reatores em paralelo
Arthur – projetar utilizando dados atualizados de consumo per capita; população; coeficiente de retorno

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Reguladora de águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal.

Brasil. Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm. Acesso em: 23 out 2018.

Bressan, T. C. S. (2016). Diagnóstico e avaliação dos reatores UASB da ETE Paranoá. Projeto Final em Engenharia Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília, 83p.

Chernicharo, C.A.L. (2007). Reatores anaeróbios. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil, 246p.

Codeplan – Companhia de Planejamento do Distrito Federal (2015). Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios. Região Administrativa VII – Paranoá. Brasília, DF, 54p.

Codeplan – Companhia de Planejamento do Distrito Federal (2018). Pesquisa de satisfação dos beneficiários do programa minha casa minha vida Paranoá Parque. Brasília, DF, 24p.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente, Brasil, 27p.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do CONAMA. Ministério do Meio Ambiente, Brasil, 8p.

Ferrari, B. Entregues mais 464 apartamentos do Paranoá Parque. 2014. <https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/2014/07/03/entregues-mais-464-apartamentos-do-paranoa-parque/>. Acesso em: 08/07/2019

G1 Distrito Federal. Um ano de racionamento: confira os números da crise hídrica no DF. Disponível em: <https://g1.globo.com/df/distrito-federal/noticia/um-ano-de-rationamento-confira-os-numeros-da-crise-hidrica-no-df.ghtml>. Acesso em 25 de out de 2018;

Goldman J. C., Porcella D. 8, Middlebrooks E. J. & Torien D. F. (1972) The effect of carbon on algal growth – its relationship to eutrophication. *Water Res.* 6, 637 - 697

relationship to eutrophication. *Water Res.* 6, 637-679

Instituto Nacional de meteorologia – Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa.

Jordão, E.P. e Pessoa, C.A. (2011). Tratamento de Esgoto Doméstico. 6ª edição. Editora ABES, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 969p.

Júnior, R. P. C. (2018). Avaliação da eficiência dos sistemas de lagoas de alta taxa como pós-tratamento dos reatores UASB para garantia da qualidade do efluente final - ETE Paranoá/DF. Projeto Final em Engenharia Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília, 79p.

Nascimento, J. R. S (2013). "Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios em Lagoas de Alta Taxa de Produção de Algas". Anais do 20º Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves - RS.

Neder, K. D. (1998). "Estações de Tratamento de Esgotos de Brasília – a busca de tecnologia apropriada." Anais do 26º Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Lima, Peru.

Neder, K. D. e Harada, A. L. (1997). "Projeto Da Estação De Tratamento De Esgotos Do Paranoá - UASB Compartimentado Seguido De Lagoa De Alta Taxa E Escoamento No Solo". Anais do 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental da ABES. Foz do Iguaçu - PR.

- Pera, G. Entregues 2.304 apartamentos no Paranoá Parque. 2016.
<https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/2016/07/01/entregues-2-304-apartamentos-no-paranoa-parque/>. Acesso em: 08/07/2019
- Silva, A. B. DA. Avaliação da produção de odor na estação de tratamento de esgoto Paranoá e seus problemas associados. p. 111, 2007.
- Soares, S.R.A. e Gomes, S.R. (1999) Análise de Desempenho de Processos de Tratamento de Esgotos no DF. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade de Brasília. Brasília, DF, 80p.
- SNIS 2018. Diagnóstico do serviço de água e esgoto de 2016.
- Tiba, C *et al.* Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de dados solarimétricos. Recife. Universidade da UFPE 2000.
- Von Sperling, M. (1997). Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Vol.5 - Reatores Anaeróbios. DESA - UFMG, Belo Horizonte - MG.
- Y.Azov, G. Shelef.(1982).Operation of high-rate oxidation ponds: Theory and experiments. Water Research, Vol. 16, pp 1153 to1160.

ANEXO I – QUADRO DE VAZÕES AFLUENTES MEDIDAS NAS ETE’S E UTILIZAÇÃO EM FUNÇÃO DA VAZÃO DE PROJETO.

ETE	Ano Operação	Descrição do Sistema	Vazão Afluente Medida (L/s)							Vazão Projeto (L/s)	Utilização em função da vazão de projeto						
			2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Alagado	1998	RAFA + LAT+ ES+ PF	53,2	54,6	61,3	75,7	75,9	79,0	90,0	154	34,5%	35,5%	39,8%	49,2%	49,3%	51,3%	58,5%
Brasília Norte	1994	RBN + POLIMENTO FINAL	514,2	481,0	453,3	451,9	479,3	484,9	483,2	920	55,9%	52,3%	49,3%	49,1%	52,1%	52,7%	52,5%
Brasília Sul	1993	RBN + POLIMENTO FINAL	1.125,1	1.180,1	1.158,3	1.122,1	1.093,0	1.127,8	1.127,0	1500	75,0%	78,7%	77,2%	74,8%	72,9%	75,2%	75,1%
Brazlândia	1983	L.An + LF	40,4	40,9	41,1	40,3	48,5	41,7	46,7	87	46,5%	47,1%	47,2%	46,4%	55,7%	47,9%	53,7%
Gama	2003	RAFA + RB + CLARIFICADOR	197,7	191,1	187,9	193,7	197,0	206,2	209,7	328	60,3%	58,3%	57,3%	59,0%	60,1%	62,9%	63,9%
Melchior	2005	RAFA + UNITANK	724,0	796,7	835,0	854,4	1.058,3	848,9	872,0	1469	49,3%	54,2%	56,8%	58,2%	72,0%	57,8%	59,4%
Paranoá	1997	RAFA + LAT + ES	30,7	32,0	45,8	58,5	70,2	74,9	80,8	112	27,4%	28,6%	40,9%	52,2%	62,7%	66,8%	72,2%
Planaltina	1998	RAFA / LF+ LM	60,4	65,4	77,0	74,9	97,7	106,4	117,7	255	23,7%	25,6%	30,2%	29,4%	38,3%	41,7%	46,1%
Recanto das Emas	1998	RAFA + LAMC + LAF	116,1	127,9	135,3	127,9	137,6	141,8	167,2	246	47,2%	52,0%	55,0%	52,0%	55,9%	57,6%	68,0%
Riacho Fundo	1997	LODO ATIVADO + RBNB	47,1	41,8	42,6	46,8	47,9	47,2	51,6	94	50,1%	44,5%	45,3%	49,8%	51,0%	50,2%	54,9%
Samambaia	1996	RAFA / LF + LAT + LP+ PF	226,8	238,9	257,1	234,5	261,5	316,6	384,4	284	79,8%	84,1%	90,5%	82,6%	92,1%	111,5%	135,4%
Santa Maria	2000	RAFA + LAT + ES	25,9	29,3	29,4	35,3	42,3	46,1	48,4	154	16,8%	19,0%	19,1%	22,9%	27,5%	30,0%	31,4%
São Sebastião	1998	RAFA + ES + LM	91,8	85,2	98,9	99,9	121,0	122,0	127,2	226	40,6%	37,7%	43,8%	44,2%	53,5%	54,0%	56,3%
Sobradinho ⁽¹⁾	1967	LODO ATIV.+ TRAT. QUÍM.	71,5	99,2	97,0	79,9	98,5	101,6	104,9	196	127,7%	177,2%	173,1%	142,6%	175,9%	181,4%	53,5%
Torto	1994	RAFA + INFIL+ CIORAÇÃO	1,9	1,9	1,9	2,5	3,4	3,5	3,5	6	31,7%	31,6%	31,7%	41,0%	56,7%	58,6%	58,2%
Vale do Amanhecer	1998	RAFA + LAF	14,5	13,4	12,8	13,2	13,6	18,8	20,4	35	41,5%	38,2%	36,5%	37,7%	38,9%	53,8%	58,4%
Total			3.341	3.480	3.535	3.511	3.846	3.767	3.935	6.066	55,1%	57,4%	58,3%	57,9%	63,4%	62,1%	64,9%

ANEXO II – MÉDIAS ANUAIS DE CONCENTRAÇÃO E CARGA DE DBO AFLUENTES ÀS ETE’S.

ETE	Ano Operação	Descrição do Sistema	Média Anual da DBO Afluente (mg/L)							Carga média de DBO Afluente (kg DBO/dia)						
			2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Alagado	1998	RAFA + LAT+ ES+ PF	520,0	547,1	458,7	446,9	624,9	696,1	681,6	2.389,7	2.582,7	2.428,3	2.922,6	4.097,9	4.754,0	5.301,7
Brasília Norte	1994	RBN + POLIMENTO FINAL	300,2	297,4	300,7	296,3	312,5	344,4	312,4	13.338,9	12.362,1	11.777,8	11.568,9	12.941,1	14.430,0	13.041,0
Brasília Sul	1993	RBN + POLIMENTO FINAL	306,5	327,6	267,9	258,3	294,4	257,4	331,1	29.796,2	33.404,4	26.812,4	25.045,6	27.801,7	25.077,4	32.244,2
Brazlândia	1983	L.An + LF	665,5	659,5	697,4	666,2	656,9	645,0	620,1	2.324,7	2.332,6	2.476,1	2.321,6	2.752,7	2.321,0	2.501,6
Gama	2003	RAFA + RB + CLARIFICADOR	395,9	449,3	447,9	401,8	380,0	361,2	339,6	6.763,0	7.419,4	7.271,5	6.723,0	6.467,9	6.433,5	6.153,6
Melchior	2005	RAFA + UNITANK	401,4	359,1	337,2	394,4	350,9	395,5	333,8	25.113,1	24.715,6	24.326,5	29.110,6	32.085,3	29.010,5	25.145,7
Paranoá	1997	RAFA + LAT + ES	789,1	535,9	607,1	707,9	663,7	740,7	597,3	2.093,6	1.483,9	2.400,1	3.575,0	4.025,5	4.790,3	4.171,7
Planaltina	1998	RAFA / LF+ LM	567,4	562,8	496,1	455,0	565,7	605,5	539,6	2.959,9	3.179,1	3.300,3	2.942,7	4.775,2	5.567,7	5.486,9
Recanto das Emas	1998	RAFA + LAMC + LAF	505,2	419,3	423,5	458,5	622,6	688,9	579,7	5.067,7	4.632,7	4.952,0	5.067,4	7.401,9	8.439,7	8.376,2
Riacho Fundo	1997	LODO ATIVADO + RBNB	714,7	429,8	374,9	400,0	405,4	434,8	483,4	2.910,7	1.551,6	1.380,1	1.617,8	1.677,8	1.773,8	2.154,5
Samambaia	1996	RAFA / LF + LAT + LP+ PF	575,0	432,2	435,5	486,2	496,5	518,2	536,6	11.265,0	8.920,8	9.673,9	9.848,6	11.217,7	14.175,2	17.823,3
Santa Maria	2000	RAFA + LAT + ES	486,9	415,1	451,0	459,2	655,0	767,2	708,1	1.091,4	1.049,8	1.145,6	1.398,7	2.393,8	3.058,6	2.959,8
São Sebastião	1998	RAFA + ES + LM	342,6	458,7	443,6	498,2	503,4	526,5	533,6	2.717,5	3.378,0	3.790,9	4.298,0	5.262,7	5.548,4	5.863,6
Sobradinho ⁽¹⁾	1967	LODO ATV.+ TRAT. QUÍM.	518,0	540,2	387,8	400,9	495,6	696,1	415,1	3.199,7	4.631,8	3.248,3	2.766,5	4.217,8	6.110,7	3.763,4
Torto	1994	RAFA + INFIL+ CIORAÇÃO	632,3	724,2	394,7	477,5	370,7	435,0	392,5	103,9	118,7	64,9	101,6	108,9	132,2	118,5
Vale do Amanhecer	1998	RAFA + LAF	743,8	661,1	548,0	527,0	484,1	483,1	462,5	933,9	763,0	604,5	600,1	568,8	785,4	816,5
Total			529,0	488,7	442,0	458,4	492,6	537,2	491,7	7.004,3	7.032,9	6.603,3	6.869,3	7.987,3	8.275,5	8.495,1

ANEXO III – ESTIMATIVAS DE POPULAÇÃO ATENDIDAS NAS ETES E UTILIZAÇÃO EM FUNÇÃO DA POPULAÇÃO DE PROJETO

ETE	Ano Opera- ção	Descrição do Sistema	População Projeto (hab)	Estimativa de População atendida por ETE (54g DBO/hab.dia)							Utilização em função da população de projeto						
				2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Alagado	1998	RAFA + LAT+ ES+ PF	84.852	44.253	47.828	44.969	54.123	75.888	88.037	98.180	52,2%	56,4%	53,0%	63,8%	89,4%	103,8%	115,7%
Brasília Norte	1994	RBN + POLIMENTO FINAL	250.000	247.017	228.928	218.107	214.239	239.650	267.221	241.500	98,8%	91,6%	87,2%	85,7%	95,9%	106,9%	96,6%
Brasília Sul	1993	RBN + POLIMENTO FINAL	460.000	551.782	618.600	496.525	463.808	514.847	464.396	597.115	120,0%	134,5%	107,9%	100,8%	111,9%	101,0%	129,8%
Brazlândia	1983	L.An + LF	29.600	43.050	43.197	45.853	42.993	50.975	42.981	46.326	145,4%	145,9%	154,9%	145,2%	172,2%	145,2%	156,5%
Gama	2003	RAFA + RB + CLARIFICADOR	182.630	125.240	137.397	134.657	124.500	119.776	119.138	113.955	68,6%	75,2%	73,7%	68,2%	65,6%	65,2%	62,4%
Melchior	2005	RAFA + UNITANK	896.799	465.057	457.697	450.492	539.085	594.172	537.232	465.661	51,9%	51,0%	50,2%	60,1%	66,3%	59,9%	51,9%
Paranoá	1997	RAFA + LAT + ES	60.000	38.771	27.479	44.446	66.204	74.547	88.709	77.254	64,6%	45,8%	74,1%	110,3%	124,2%	147,8%	128,8%
Planaltina	1998	RAFA / LF+ LM	138.000	54.812	58.872	61.116	54.494	88.430	103.105	101.609	39,7%	42,7%	44,3%	39,5%	64,1%	74,7%	73,6%
Recanto das Emas	1998	RAFA + LAMC + LAF	125.500	93.846	85.791	91.704	93.841	137.072	156.290	155.115	74,8%	68,4%	73,1%	74,8%	109,2%	124,5%	123,6%
Riacho Fundo	1997	LODO ATIVADO + RBNB	43.000	53.901	28.733	25.558	29.960	31.070	32.849	39.899	125,4%	66,8%	59,4%	69,7%	72,3%	76,4%	92,8%
Samambaia	1996	RAFA / LF + LAT + LP+ PF	180.000	208.611	165.200	179.146	182.382	207.736	262.504	330.062	115,9%	91,8%	99,5%	101,3%	115,4%	145,8%	183,4%
Santa Maria	2000	RAFA + LAT + ES	84.852	20.212	19.441	21.214	25.901	44.330	56.641	54.811	23,8%	22,9%	25,0%	30,5%	52,2%	66,8%	64,6%
São Sebastião	1998	RAFA + ES + LM	77.717	50.324	62.556	70.202	79.593	97.458	102.748	108.586	64,8%	80,5%	90,3%	102,4%	125,4%	132,2%	139,7%
Sobradinho ⁽¹⁾	1967	LODO ATV.+ TRAT. QUÍM.	146.000	59.254	85.773	60.154	51.232	78.107	113.160	69.692	148,1%	214,4%	150,4%	128,1%	195,3%	282,9%	47,7%
Torto	1994	RAFA + INFIL+ CLORAÇÃO	2.500	1.925	2.198	1.201	1.881	2.017	2.448	2.195	77,0%	87,9%	48,1%	75,2%	80,7%	97,9%	87,8%
Vale do Amanhecer	1998	RAFA + LAF	15.000	17.294	14.129	11.194	11.113	10.534	14.544	15.120	115,3%	94,2%	74,6%	74,1%	70,2%	97,0%	100,8%
Total			2.776.450	2.075.349	2.083.821	1.956.537	2.035.350	2.366.608	2.452.003	2.517.078	74,7%	75,1%	70,5%	73,3%	85,2%	88,3%	90,7%

ANEXO IV – PROJEÇÕES DE POPULAÇÃO ATENDIDA POR BACIA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO DF.

ETE	Populaç ão de Projeto (hab)	População atendida por esgotamento sanitário (hab)												
		2010	Projeção - CENÁRIO REFERENCIAL MÍNIMO - PDAE/2010						Projeção - CENÁRIO REFERENCIAL MÁXIMO - CODEPLAN					
			2015	2020	2025	2030	2035	2040	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Alagado	84.852	56.125	73.073	89.676	92.813	95.863	98.807	101.676	75.240	89.740	94.630	100.534	105.875	111.237
Brasília Norte	250.000	150.608	197.230	209.166	220.463	231.634	242.760	253.013	203.068	209.300	225.534	242.926	260.135	276.809
Brasília Sul	460.000	422.684	459.604	502.529	542.460	579.842	616.065	650.487	473.222	502.842	556.988	608.062	660.106	711.692
Brazlândia	29.600	44.030	46.485	48.144	49.732	51.312	52.878	54.234	47.863	48.187	50.683	53.814	56.665	59.334
Gama	182.630	117.863	122.019	123.967	125.639	127.212	128.738	130.182	125.627	124.080	127.560	133.403	137.945	142.428
Melchior	896.799	564.561	588.599	619.445	649.657	679.115	708.078	735.769	606.014	619.920	663.900	712.189	758.715	804.983
Paranoá	60.000	72.198	80.034	80.187	80.271	80.355	80.440	80.525	82.403	80.260	81.309	84.273	86.191	88.105
Planaltina	138.000	81.564	102.563	105.268	107.705	109.966	112.026	113.894	105.602	105.350	109.547	115.319	120.039	124.605
Recanto das Emas	125.500	135.570	168.684	215.518	228.306	239.976	250.983	261.857	173.678	215.769	233.644	251.661	268.938	286.487
Riacho Fundo	43.000	27.568	30.832	39.766	40.633	41.484	42.334	43.178	31.741	39.792	41.321	43.502	45.363	47.241
Samambaia	180.000	198.262	214.196	231.279	240.615	249.111	256.890	263.999	220.539	231.477	245.484	261.253	275.254	288.837
Santa Maria	84.852	45.820	56.491	74.526	77.142	79.704	82.154	84.590	58.168	74.585	78.647	83.585	88.030	92.547
São Sebastião	77.717	83.757	116.546	146.011	159.148	171.765	183.862	195.803	119.996	146.131	163.770	180.127	197.021	214.220
São Sebastião - Via Caminhão	-	-	146	550	954	1.358	1.763	2.168	150	550	1.048	1.424	1.888	2.372
Sobradinho	40.000	59.929	70.176	73.012	75.784	78.514	81.112	83.605	72.257	73.070	77.310	82.345	86.915	91.477
Torto	2.500	2.273	2.413	2.537	2.637	2.737	2.837	2.944	2.485	2.539	2.690	2.870	3.040	3.220
Vale do Amanhecer	15.000	10.655	11.021	11.301	11.543	11.742	11.912	12.078	11.345	11.310	11.731	12.316	12.764	13.213
Total	2.670.450	2.073.467	2.340.112	2.572.882	2.705.502	2.831.690	2.953.639	3.070.002	2.409.398	2.574.902	2.765.796	2.969.603	3.164.884	3.358.807
	População superior a população de projeto.													
	População superior a 80% da população de projeto.													

